

JOSÉ MILTON ARANA

Comparação de Métodos na Astronomia de Alta
Precisão: Mayer, Sterneck e Determinação
Simultânea

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Ciências Geodésicas para a
obtenção do Grau de Mestre em Ciências
pela Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1991

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS NA ASTRONOMIA
DE ALTA PRECISÃO: MAYER, STERNECK E
DETERMINAÇÃO SIMULTÂNEA

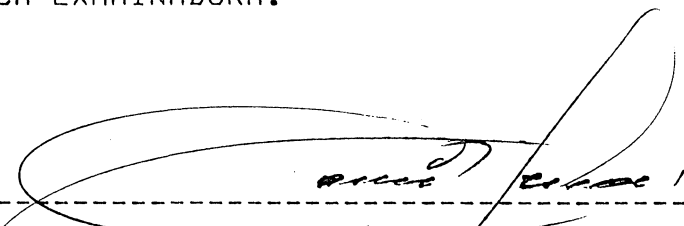
DISSERTAÇÃO

Apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências
Geodésica para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências pela Universidade Federal do Paraná.

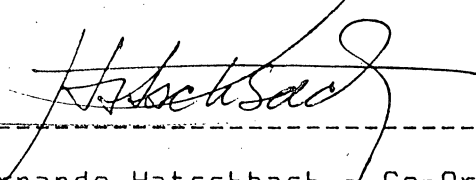
Por

JOSÉ MILTON ARANA

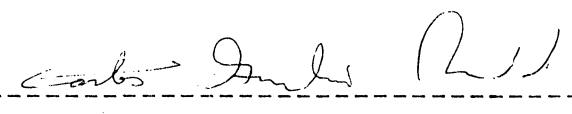
BANCA EXAMINADORA:



Dr. Camil Gemael - Orientador



M.Sc. Fernando Hatschbach - Co-Orientador



M.Sc. Carlos Aurélio Nadal

Curitiba, 02 de abril 1991

AGRADECIMENTOS

O autor deseja externar seus agradecimentos a

- . Diretoria de Geodésia e Cartografia da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, pela execução das observações de campo.
- . Ao Departamento de Geociências da Universidade Federal do Paraná.
- . Ao Departamento de Cartografia da FCT/UNESP, pela concessão do afastamento durante a fase de obtenção dos créditos..
- . A todos os amigos e familiares pelo apoio e incentivo.
- . Aos engenheiros cartógrafos Otavio Yassuo Itame, Paulo de Oliveria Camargo e João Francisco Galera Mônico.

Este trabalho é dedicado com
afeição e carinho a minha
esposa Alba Regina e aos
nossos filhos André e Daniel

SUMÁRIO

TÍTULO	i
BANCA EXAMINADORA . . . . .	.ii
AGRADECIMENTOS	iii
DEDICATÓRIA . . . . .	.iv
SUMÁRIO	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO . . . . .	.01
1.1 Definição do assunto . . . . .	.01
1.2 Objetivos . . . . .	.02
1.3 Metodologia . . . . .	.03
1.4 Local das observações . . . . .	.03
1.5 Equipamentos utilizados . . . . .	.04
2. DETERMINAÇÃO DA LATITUDE PELO MÉTODO DE STERNECK . . . . .	.05
2.1 Introdução. . . . .	.05
2.2 Método de Sterneck. . . . .	.05
2.3 Programa de Observações . . . . .	.09
2.3.1 Cálculo da Hora Sideral do Início das Observações . . . . .	.10
2.3.2 Cálculo da Distância Zenital. . . . .	.11
2.4 Operações de Campo. . . . .	.12
2.5 Correção da Refração Atmosférica. . . . .	.14
2.6 Cálculo da Latitude . . . . .	.15
3. DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE PELO MÉTODO DE MAYER. . . . .	.18
3.1 Introdução. . . . .	.18
3.2 Método de Mayer . . . . .	.18
3.3 Programa de Observações . . . . .	.22
3.4 Operações de Campo. . . . .	.24

3.5	Correções . . . . .	.27
3.6	Cálculo da Longitude. . . . .	.33
4.	DETERMINAÇÃO SIMULTÂNEA DA LATITUDE E LONGITUDE . . .	.35
4.1	Introdução. . . . .	.35
4.2	Apresentação da Nova Solução. . . . .	.36
4.3	Programa de Observações . . . . .	.39
4.4	Operações de Campo. . . . .	.45
4.5	Correções . . . . .	.46
4.6	Cálculo da Latitude e Longitude . . . . .	.47
5.	RESULTADOS E CONCLUSÕES.	50
5.1	Introdução	50
5.2	Resultados	50
5.3	Conclusão.	53
	NOTA DE REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICES.	56
	APÊNDICE A - Programa para Cálculo Simultâneo da Latitude e Longitude	57
	APÊNDICE B - Dados de Campo para Determinação da Latitude por Sterneck	67
	APÊNDICE C - Dados de Campo para Determinação da Longitude por Mayer	73
	APÊNDICE D - Dados de Campo para Determinação Simultânea da Latitude e Longitude	78

RESUMO

Este trabalho consiste na comparação de métodos para determinações astronômicas de alta precisão. Para este fim, utilizou-se o método de Sterneck para a determinação da latitude, o método de Mayer para determinação da longitude e o método de determinação simultânea das coordenadas astronômicas através de observações de estrelas em alturas iguais. Neste último, utilizou-se um novo tratamento matemático, apresentado por Kivioja, L. A. e Mihalko, J. A.

ABSTRACT

This paper consist in the comparison of the methods for high precision astronomical determination. For this purpose, were used of the Sterneck method for latitude determination, Mayer method for longitude and the method of simultaneous determination of the astronomic coordinates using star observations of equal zenital distances. In the last case was used a new mathematics treatment, wich was introduced by Kivioja, L. A. and Mihalko, J. A.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 Definição do assunto

Os engenheiros cartógrafos e outros profissionais da área de levantamentos, estão sempre enfrentando o problema de determinação das coordenadas de pontos ou de direções terrestres. As coordenadas ou direções podem ser obtidas por diversas técnicas: Rastreamento de satélites artificiais; poligonização; triangulação; trilateração e astronomia, sendo a última objeto do presente trabalho.

Entende-se por coordenadas as quantidades que definem a posição de um ponto sobre um determinado sistema de referência. Define-se como coordenadas geográficas, quantidades que definem a posição de um ponto da superfície terrestre projetado sobre o geóide 1011, coordenadas estas denominadas de latitude e longitude astronômicas.

Latitude astronômica de um ponto é definida como sendo o ângulo que a vertical, nesse ponto, forma com sua projeção equatorial (equador instantâneo) 1021. Convencionalmente, positiva para pontos que se encontram ao norte do equador, e negativa para os pontos que se encontram ao sul do equador.

Longitude astronômica é definida como sendo o ângulo diédrico formado pelo plano do meridiano astronômico do observador

e o plano do meridiano astronômico médio de Greenwich, medido sobre o plano do equador instantâneo 1031, convencionalmente negativo a oeste de Greenwich.

1.2 Objetivos

Os objetivos propostos para este trabalho são:

- Apresentar os métodos clássicos utilizados para determinação das coordenadas astronômicas de alta precisão, ou seja, o método de Mayer e Sterneck, para determinação da longitude e latitude, respectivamente.
- Apresentar o novo tratamento matemático, de autoria dos Pesquisadores Kivioja e Mihalko, às observações astronômicas para determinação simultânea da latitude e longitude astronômicas, usando observações de estrelas em um mesmo almican-tarado (alturas iguais).
- Efetuar determinações da latitude e longitude, utilizando métodos clássicos e o método de determinação simultânea da latitude e longitude, aplicando o novo tratamento matemático.
- Comparar os resultados obtidos, em termos de precisão, efetuando uma análise estatística dos resultados e discutir as vantagens e desvantagens de cada método.

1.3 Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos, efetuou-se uma revisão bibliográfica dos métodos clássicos usados nas determinações da latitude e longitude. Determinou-se a latitude utilizando o método de Sterneck, a longitude utilizando o método de Mayer e o método de determinação simultânea da latitude e longitude utilizando o método de observações de estrelas em alturas iguais.

No desenvolvimento deste trabalho, o tratamento matemático adotado, seguiu às orientações recomendadas para determinações de alta precisão, isto para que pudessem ser eliminados possíveis erros sistemáticos, e conseqüentemente alcançar resultados de alta precisão.

As determinações de campo, foram executadas pela mesma equipe de operadores e mesmo instrumental. Este procedimento foi adotado para possíveis comparações, em termos de precisão, vantagens e desvantagens de cada método.

1.4 Local das observações

As observações foram executadas no ponto EP UNESP 01, situado na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista - Campus de Presidente Prudente SP.

1.5 Equipamentos utilizados

Para a execução das observações, foram utilizados os seguintes instrumentos, conforme segue:

- Teodolito T4 da Wild e acessórios;
- Cronógrafo OMEGA/OTMR;
- Rádio receptor, acoplado ao cronógrafo;
- Barômetro, termômetro; e
- Micro computador.

CAPÍTULO II

DETERMINAÇÃO DA LATITUDE PELO MÉTODO DE STERNECK

2.1 Introdução

Dentre os vários métodos de determinação da latitude, optou-se pelo método de Sterneck, em razão do mesmo proporcionar resultados de alta precisão (erro médio quadrático da média inferior a $0.1''$, em valor absoluto 1041), ser considerado o mais simples e também poder ser utilizado em qualquer região do Brasil (por não possuir regiões próximas aos polos, esta é a restrição do método).

A denominação deste método deve-se ao Capitão Sterneck, primeiro a propor o uso extensivo do método de Horrebow-Talcott com uso de teodolito e algumas simplificações.

É comum encontrar, em literaturas, a denominação do método de Sterneck como método de Horrebow-Talcott a teodolito e também como Horrebow-Talcott simplificado.

2.2 Método de Sterneck

Este método basicamente consiste em observar duas estrelas em suas passagens pelo meridiano, sendo uma ao norte e outra ao sul do zênite. Nessas passagens mede-se o ângulo zenital da estrela. Este conceito pode também ser aplicado à

grupos de estrelas.

A figura 01 facilita a visualização e deduções do método.

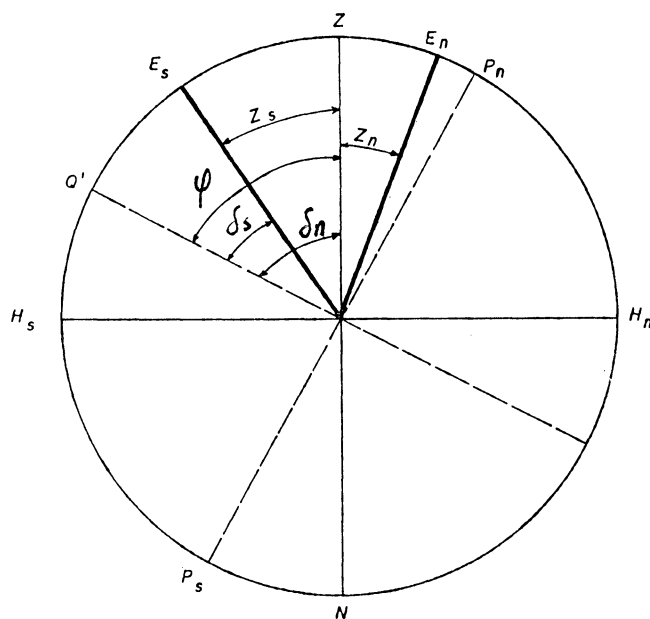


figura 01

Na figura 01 tem-se:

E_n - Estrela ao norte do zênite,

E_s - Estrela ao sul do zênite,

Z - Ponto zenite,

N - Ponto nadir,

P_s - Polo sul,

P_n - Polo norte,

H_s - Ponto sul,

H_n - Ponto norte,

QQ' - Equador celeste,

φ - Latitude do ponto,

Z_s - Distância zenital da estrela ao sul,

Z_n - Distância zenital da estrela ao norte,

δ_s - Declinação da estrela ao sul do zênite, e

δ_n - Declinação da estrela ao norte do zênite.

Da mesma figura obtem-se:

$$\psi = \delta_s + z_s \text{ e} \quad 2.1$$

$$\psi = \delta_n - z_n , \quad 2.2$$

Somando-se as expressões 2.1 e 2.2, tem-se:

$$\psi = (\delta_s + \delta_n)/2 + (z_s - z_n)/2 \quad 2.3$$

Considerando as condições reais de observações, deve-se considerar, no ângulo zenital, a influência da refração atmosférica, bem como a influência do zênite instrumental. Tem-se então:

$$z_s = z_s' - z_o + R_s \quad 2.4$$

$$z_n = z_n' - z_o + R_n \quad 2.5$$

Onde:

z_s' - Leitura do ângulo zenital, estrela ao sul;

z_n' - Leitura do ângulo zenital, estrela ao norte;

z_o - Zênite instrumental;

R_s - Refração atmosférica, estrela ao sul; e

R_n - Refração atmosférica, estrela ao norte.

Substituindo as expressões 2.4 e 2.5 na expressão 2.3, tem-se:

$$\varphi = (\delta_s + \delta_n)/2 + (Z_s' - Z_n')/2 + (R_s - R_n)/2 \quad 2.6$$

Expressão esta, que nos fornece a latitude do ponto, pelo método de Sterneck.

Na determinação da latitude, a maior influência de erros sistemáticos, deve-se ao fato da refração atmosférica não ser perfeitamente conhecida. Neste método, utiliza-se a diferença da influência causada pela refração atmosférica. Então, na expressão 2.6, quando um par de estrelas é observado com a mesmo ângulo zenital, vê-se que o último termo da expressão se anulará, pois a influência da refração atmosférica da estrela ao sul do zênite será a mesma da estrela ao norte.

Em determinações astronômicas da latitude, o caso acima dificilmente ocorre. Então para minimizar estas influências, algumas restrições são impostas ao método, visando obter resultados de alta precisão. Tais restrições são:

- a. A distância zenital observada, preferencialmente ser menor que 30° , podendo ser até 40° ;
- b. Devem-se observar oito séries, cada série consiste em oito estrelas, ou seja, quatro estrelas ao sul do zênite e quatro ao norte;

- c. A diferença da somatória dos ângulos zenitais das estrelas ao sul e ao norte deve ser inferior à 5^0 , e o mais próximo possível de zero;
- d. Devem-se observar estrelas em pelo menos duas noites e o número mínimo é de três séries por noite; e
- e. Observam-se estrelas com magnitude entre 3,0 e 7,0.

2.3 Programa de observações

Para efetuar as observações astronômicas, deve-se ter em mãos a listagem de estrelas que atendam ao método. Esta listagem, comumente denominada de lista de estrelas, deve conter também os elementos de calagem das estrelas, ou seja, o azimute, distância zenital aproximada e o instante em que deverá ser efetuada a observação.

Ao elaborar a lista de estrelas, as restrições impostas ao método devem ser consideradas. No caso específico da determinação da latitude de alta precisão (descrito no item 2.2), faz-se necessário o conhecimento das coordenadas aproximadas da estação onde serão efetuadas as observações, do meridiano local, bem como da hora legal em que se deseja iniciar as observações.

2.3.1 Cálculo da hora sideral do início das observações.

Decidida a hora legal (Hl) do início das observações, calcula-se a hora sideral (S) correspondente. Este cálculo pode ser executado com a utilização da expressão (2.7), apresentada por Robbins 1051,

$$S = S_0 + L_0 + (Hl - F) 1,002737909265 \quad 2.7$$

Onde;

- S_0 - Hora sideral a zero hora tempo universal (TU),
- L_0 - Longitude aproximada da estação,
- Hl - Hora legal do início das observações,
- F - Fuso horário da estação (negativo a Oeste do meridiano de Greenwich),
- $Hl-F$ - Transformação da hora legal em hora média, e
- 1,002737909265 - Fator de conversão de intervalo de tempo médio em intervalo de tempo sideral.

Calculada a hora sideral do início das observações, escolhem-se no *Apparent Places of Fundamental Stars - APFS 1061*, estrelas que possuam ascensão reta maior que esta hora calculada, pois a ascensão reta é igual, em valor numérico, à hora sideral em que a estrela cruza o meridiano local.

2.3.2 Cálculo da distância zenital.

Para que possa ser alcançado, a partir das observações, resultados de alta precisão, é imposto ao método a restrição de que o ângulo zenital observado (Z') seja menor que 30° . Então, a partir da expressão (2.1) e (2.2), tem-se:

$$\delta_s > \varphi_0 - 30^\circ \quad e$$

$$\delta_n < \varphi_0 + 30^\circ.$$

Onde φ_0 é a latitude aproximada da estação.

Utilizou-se, neste trabalho, latitude aproximada (φ_0) como sendo $\varphi_0 = -22^\circ 07'$, o que resultou como limite de declinação:

$$-52^\circ 07' < \delta_s < -22^\circ 07' \quad \text{limite de declinação das estrelas que culminam ao sul do zênite.}$$

$$-22^\circ 07' < \delta_n < 7^\circ 53' \quad \text{limite de declinação das estrelas que culminam ao norte do zênite.}$$

Calculado os limites de declinação das estrelas, escolhe-se no catálogo estelar, as estrelas que estejam neste intervalo de declinação. Deve-se estar atento, para que as condições b, c, d e e sejam satisfeitas simultaneamente.

PROGRAMA DE OBSERVAÇÃO PARA LATITUDE APROXIMADA DE 22°07'S

Estr.	mg	Alfa	Delta	Z	N/S
1487	3,3	18h45min	-27°00'	04°53'	S
1489	4,5	18 47	-04 46	17 21	N
1490	5,6	18 48	-43 42	21 35	S
1495	5,6	18 54	-16 23	05 44	N
717	3,6	19 05	-04 54	17 13	N
1496	3,4	19 06	-27 41	05 34	S
718	4,1	19 08	-37 56	15 49	S
1500	5,4	19 12	-07 58	14 10	N
1501	5,6	19 19	-35 27	13 20	S
727	4,6	19 21	-15 59	06 08	N

2.4 Operações de Campo

Estando o instrumento (teodolito) instalado e nivelado sobre o ponto, faz-se então a orientação do mesmo, ou seja, o eixo de colimação do teodolito paralelo ao meridiano local.

Para que possam ser alcançados resultados de alta precisão, a orientação do instrumento pode ter um erro máximo de três segundos de arco (3"). Costa 1071.

Em um relógio auxiliar, comumente denominado de relógio piloto, no instante da hora legal do início das observações, registra-se a correspondente hora sideral (vide item 2.3.1).

No início e no término das observações devem ser feitas as comparações rádio-cronômetro. Caso haja intervalo de tempo, entre as séries, maior que duas horas, fazem-se neste intervalo novas comparações rádio-cronômetro.

No início e término de cada série, fazem-se leituras da temperatura e pressão barométrica.

Em uma mesma série, todas as estrelas devem ser observadas na mesma posição do instrumento, isto é, todas em posição direta ou todas na posição inversa do instrumento. Alternadamente, entre as séries, o instrumento deve ser invertido de posição, ou seja, se forem observadas estrelas de uma série em posição direta (PD), a próxima série deve ser observada em posição inversa (PI).

O intervalo entre as observações deve ser superior a um minuto e meio, isto quando a estrela subsequente a ser observada estiver no mesmo lado em relação ao zênite, ou seja, se terminada a observação de uma estrela ao norte do zênite a observação da próxima também for ao norte, e superior a dois minutos quando forem observadas estrelas em lados opostos, isto em relação ao zênite.

A caderneta de observação deve conter, para cada observação:

- Número da estrela;
- Leitura da distância zenital;

- Leitura do nível vertical;
- Instante cronométrico; e
- Posição da estrela em relação ao zênite (ao norte ou ao sul).

Neste trabalho, adotou-se que cada série de observação fosse composta por um grupo de dez estrelas, sendo cinco com passagem meridiana ao norte do zênite e cinco ao sul. Foram observados cinco grupos na primeira noite de trabalho (28/07/88) e cinco grupos na segunda noite (29/07/88).

2.5 Correção da refração atmosférica

A Astronomia de Posição, preocupa-se com o efeito da refração atmosférica, a qual provoca o deslocamento aparente dos astros.

Sabe-se que a luz ao atravessar meios de densidade diferentes sofre um deslocamento. A densidade da atmosfera, diminui continuamente ao afastar-se da Terra, fazendo com que a luz emitida ou refletida dos astros, ao adentrar a atmosfera, trafegue meios de densidade sucessivamente maior.

A Física nos ensina que a luz ao incidir em meios de densidade diferente, a luz refratada aproxima-se ou afasta-se da normal ao ângulo de incidência, sendo que a aproximação ocorre quando o meio de incidência é de densidade menor que o meio de refração.

O efeito da refração atmosférica é a elevação aparente dos astros. A correção desse efeito nas determinações dos ângulos zenitais dos astros é sempre positiva, ou seja, deve-se somar a correção ao ângulo zenital lido, e subtrair quando a determinação for da altura do astro.

Robbins 1081, apresenta uma fórmula (2.8) que permite o cálculo da correção da refração atmosférica, a qual foi utilizada neste trabalho, ou seja:

$$R'' = \operatorname{tg} Z' (16,271'' - 0,021'' \sec^2 Z') (P - 0,156 e)/T \quad 2.8$$

e,

$$Z = Z' + R \quad 2.9$$

onde:

R - Correção da refração atmosférica, em segundos de arco

P - Pressão atmosférica, em milibar;

T - Temperatura atmosférica, em graus Kelvin,

$$(K^0 = C^0 + 273,16);$$

Z' - Distância zenital observada;

Z - Distância zenital corrigida da refração atmosférica; e

e - pressão do vapor d'água.

2.6 Cálculo da latitude

O procedimento para o cálculo da latitude no presente trabalho, deu-se da seguinte maneira:

- Cálculo da latitude de cada par de estrelas, usando a expressão 2.6;
- Cálculo da média aritmética e desvio padrão de uma observação, para cada grupo;
- Desprezou-se o par de estrelas, cuja latitude calculada não estivesse no intervalo do desvio padrão de uma amostra, isto é, a latitude de um par (φ), não estando no intervalo definido pelo erro médio quadrático de uma observação (m),

$$\varphi - m < \varphi < \varphi + m, \text{ foi desprezada;}$$

- Cálculo da média aritmética da latitude final e todos os pares de estrela aceitas, nas duas noites de observação; e
- Cálculo do erro médio quadrático da média, com uso da fórmula

$$m = \pm (|VV|/n(n-1))^{1/2} \quad 2.10$$

onde:

$|VV|$ - Somatório do quadrado dos resíduos,

n - Número de pares de estrelas

- Redução ao polo médio (CIO)

A redução ao CIO (CRPF) é feita para corrigir o efeito decorrente da variação da posição do eixo de rotação da Terra. A correção em Hatschback 1091, é dada em 2.11, conforme segue:

$$CRPF = y \cdot \sin L - x \cdot \cos L$$

2.11

Onde:

x; y - Coordenadas retangulares do Polo instantâneo; e

L - Longitude da estação de observação.

CÁLCULO DA LATITUDE DE UM GRUPO DE ESTRELAS

P_{inicial} = 958,6 mbarP_{final} = 958,6 mbarT_{inicial} = 19,8 °CT_{final} = 19,8 °C

Estr.	Par	N/S	Delta	Z(lido)	R''
1487	1	S	-27°00'19,05''	04°52'53,60''	04,55''
1489	2	N	-04 45 42,57	17 21 17,60	16,64
1490	2	S	-43 41 45,72	21 34 04,00	21,06
1495	1	N	-16 23 33,72	05 43 37,80	05,33
717	3	N	-04 54 04,53	17 12 55,40	16,51
1496	4	S	-27 41 22,51	05 33 55,90	05,19
718	3	S	-37 55 30,47	15 47 55,40	15,07
1500	5	N	-07 57 36,92	14 09 25,90	13,43
1501	5	S	-35 26 41,20	13 19 08,60	12,61
727	4	N	-15 58 41,72	06 08 27,60	05,72

Par	Latitude	Resíduo
1	-22°07'18,875''	0,439''
2	-22 07 18,735	0,299
3	-22 07 18,220	-0,216
4	-22 07 18,230	-0,206
5	-22 07 18,120	-0.316

LATITUDE DO GRUPO = -22°07'18,436'' ± 0,154''

CAPÍTULO III

DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE PELO MÉTODO DE MAYER

3.1 Introdução

Dentre os vários métodos de determinação da longitude astronômica, optou-se pelo método de Mayer, também denominado de trânsito meridiano [11], pelo fato deste método proporcionar resultados de alta precisão (erro médio quadrático da média inferior a $0,1''$ [12]), aliado a praticidade operacional, e também por ser o método utilizado pela Fundação Instituto de Geografia e Estatística - IBGE. Instituição esta que efetuou as operações de campo deste trabalho.

3.2 Método de Mayer

Longitude astronômica e hora local são valores iguais, expressos em grandezas diferentes, pois a grandeza hora representa intervalo de tempo e a grandeza longitude representa um ângulo, onde uma hora corresponde a um ângulo de quinze graus (15°). Então a diferença de horas locais de dois pontos é o mesmo que a diferença de longitude entre esses pontos. Se um desses pontos estiver contido no meridiano médio de Greenwich (origem da longitude astronômica), conclue-se que esta diferença de longitude será a própria longitude astronômica do ponto.

Em determinações astronômicas, a longitude astronômica é determinada a partir da hora local. Existem vários métodos que permitem a determinação da hora local, entretanto, pelos motivos expostos no item 3.1, este trabalho apresenta apenas o estudo do método de Mayer.

Este método, de determinação da longitude, basicamente consiste em determinar o instante cronométrico da estrela em sua passagem meridiana.

Na passagem meridiana, o ângulo horário do astro é nulo. Com auxílio da equação fundamental da astronomia de posição (3.1), conclue-se que a ascensão reta do astro é, numericamente, igual à hora sideral da passagem meridiana do astro.

$$S = H + \alpha \quad 3.1$$

onde:

S - Hora sideral local;

H - Ângulo horário do astro; e

α - Ascensão reta do astro.

Determinada a hora sideral local (S), a longitude (L) é dada pela relação:

$$L = S - S_G \quad 3.2$$

onde, S_G representa a hora sideral de Greenwich.

A determinação da hora sideral local, consiste em determinar o instante do astro em sua passagem meridiana.

Devido a erros acidentais e sistemáticos, o instante cronométrico não corresponde a exata passagem meridiana do astro. Estes erros (τ) podem ser minimizados através da equação de Mayer modificada(3.3).

$$\tau = Aa + Bb + Cc + k \quad 3.3$$

onde:

τ - Redução do instante cronométrico ao meridiano;

A - Fator de azimuth;

B - Fator de nível;

C - Fator de colimação;

k - Aberração diária(diurna);

a - Desvio azimuthal do instrumento (incógnita da equação 3.12, pode ser determinada pelo método dos mínimos quadrados);

b - Inclinação do eixo secundário do instrumento; e

c - Desvio de colimação do instrumento.

$$A = \sin(\psi - \delta) \sec \delta \quad 3.4$$

$$B = \cos(\psi - \delta) \sec \delta \quad 3.5$$

$$C = \sec \delta \quad 3.6$$

$$b = (\Delta W - \Delta E) d/60 \quad 3.7$$

$$c = (m - s) R / 200 \quad 3.8$$

$$k = 0,02132s \cos \psi \sec \delta \cos H \quad 3.9$$

ΔW - Diferença aritmética da maior e menor leitura de nível (ocular a Oeste);

ΔE - Diferença aritmética da maior e menor leitura de nível (ocular a Leste);

d - Sensibilidade do nível;

m - Movimento perdido do micrômetro impessoal;

s - Espessura média dos contatos do micrômetro;

R - Valor equatorial da volta do micrômetro; e

H - Ângulo horário da estrela.

Aplicando estas correções, a expressão 3.2 assumirá:

$$L = \alpha - (S_G + A_a + B_b + C_c + k) \quad 3.10$$

Sendo:

$$\Delta L = L - L_0 \quad 3.11$$

onde:

ΔL - Correção à longitude;

L - Longitude do ponto; e

L_0 - Longitude aproximada do ponto.

$$\Delta L + L_0 + S_G + A_a + B_b + C_c + k - \alpha = 0 \quad 3.12$$

Para alcançar resultados de alta precisão, na determinação da longitude astronômica, são impostas algumas restrições às estrelas, conforme segue:

a- Devem estar catalogadas no FK5 (5º catálogo fundamental) ou A.P.F.S.;

- b- Ter magnitude entre 3,0 e 7,0;
- c- Fator de azimute (A) menor que 0,6 (valor absoluto);
- d- O somatório do fator de azimute de um conjunto de estrelas (série) deve ser menor que 1,0 (em valor absoluto), e o mais próximo de zero possível;
- e- Um conjunto de estrelas, normalmente é constituído de seis a oito estrelas. Para um conjunto de número par de estrelas, o número de estrelas cuja passagem meridiana dá-se ao norte do zênite, tem de ser o mesmo número de estrelas cuja passagem meridiana dá-se ao sul. Para conjuntos formados com número ímpar de estrelas, a diferença do número de estrelas ao norte e sul do zênite não devem diferir de uma unidade;
e
- f- Devem ser observados pelo menos seis conjuntos de estrelas, e também devem ser observadas em pelo menos duas noites de trabalho.

3.3 Programa de Observações

Decidida a hora legal do início das observações, com o mesmo procedimento apresentado no item 3.1 do capítulo II, determina-se a hora sideral local do início das observações (S_i).

Na passagem meridiana, o ângulo horário da estrela (H) é nulo, portanto, através da equação fundamental da astronomia (3.1) tem-se que hora sideral local é igual, numericamente, a ascensão reta da estrela. Assim, a lista de estrelas deve conter estrelas que possuam ascensão reta maior que a hora sideral do início das observações (α > S_1).

O fator de azimuth (A) de qualquer estrela deve ser menor que 0,6 em valor absoluto. Então, a expressão 3.4 propicia o cálculo do limite de declinação das estrelas. Neste trabalho, sendo a latitude da estação de observação $22^{\circ}07'18,6''S$, tem-se que o limite de declinação das estrelas:

- Passagem meridiana ao sul do zênite,

$$-46^{\circ}30'40'' < \delta_s < -22^{\circ}07'18,6'' ; e$$

- Passagem meridiana ao norte do zênite,

$$-22^{\circ}07'18,6'' < \delta_n < 13^{\circ}33'35''.$$

Calculado o limite de declinação das estrelas, escolhem-se, no A.P.F.S., estrelas que estejam nesse intervalo calculado. As estrelas que estarão contidas na lista devem satisfazer simultaneamente as condições a, b, c, d, e e f do item 3.2 .

A lista de estrelas deve conter o número da estrela, magnitude, ascensão reta(α), declinação(δ), distância zenital(Z) e fator de azimuth(A).

PROGRAMA DE OBSERVAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE

Estr.	mg	Alfa	Delta	Z	A	N/S
556	3,4	15h03min24s	-25°14'27"	03°07'09"	0,060	S
559	4,7	15 11 34	-19 45 06	02 22 12	-0,044	N
564	2,7	15 16 24	-09 20 34	12 46 44	-0,224	N
1402	3,4	15 20 37	-40 36 41	18 29 23	0,418	S
1407	5,9	15 27 37	-16 40 46	05 26 32	-0,099	N
579	3,8	15 36 20	-28 06 04	05 58 46	0,118	S
582	2,9	15 43 40	06 23 30	28 30 48	-0,481	N
586	4,1	15 50 14	-33 35 49	11 28 31	0,239	S

3.4 Operações de Campo

Estando o instrumento instalado e nivelado sobre o ponto, faz-se então a orientação do mesmo (eixo de colimação da luneta do teodolito coincidente com o meridiano local). Segundo Robbins [11], para que possa ser alcançado resultado de alta precisão, a orientação do instrumento deve ter um erro inferior a quinze segundos de arco (15").

O retículo móvel do micrômetro impessoal, é acoplado ao teodolito, de maneira que o fio móvel fique paralelo ao retículo vertical do teodolito.

No relógio auxiliar, registra-se a hora sideral local aproximada. Este pode ser um relógio médio ou sideral, pois a finalidade do mesmo é de apenas marcar a hora sideral aproximada da estrela em sua passagem meridiana.

Caso o relógio auxiliar seja um relógio médio, o registro da hora sideral local correspondente ao mesmo instante físico, deve ser o mais próximo possível do início das observações, pois o dia sideral adianta de aproximadamente quatro minutos em relação ao dia médio.

No início, meio e fim de cada período de observações às estrelas em suas passagens meridianas, faz-se a comparação rádio-cronógrafo, conforme segue:

a- Sintoniza-se uma emissora de rádio, de localização geográfica conhecida e que retransmita o Tempo Universal Coordenado - TUC ; e

b- Identifica-se na fita do cronógrafo, pelo menos vinte, registros correspondentes aos sinais retransmitidos pela emissora. Isto para que possa ser calculado, posteriormente, o estado do cronógrafo em relação ao TUC.

De posse da lista de estrelas, faz-se a calagem da primeira estrela a ser observada.

Com auxílio do relógio piloto, aproximadamente um minuto de tempo antes do instante previsto da passagem meridiana da

estrela, faz-se a leitura do nível.

Deixa-se o fio móvel do micrômetro impessoal afastado de aproximadamente duas voltas e meia (2,5 voltas) do retículo vertical da luneta do instrumento e, no nível auxiliar do teodolito, registra-se o complemento da distância zenital da estrela.

Quando a estrela atinge o retículo móvel do micrômetro impessoal, acompanha-se a estrela com este retículo. Instantes antes desta estrela atingir o meridiano local (materializado pelo retículo vertical do teodolito) inverte-se a posição do instrumento e acompanha-se a estrela por mais aproximadamente 2,5 voltas do micrômetro impessoal. Terminada a observação à estrela, faz-se novamente a leitura de nível.

Esta técnica permite que sejam registrados instantes cronométricos, momentos antes e momentos após a passagem meridiana, cuja média aritmética dos instantes cronométricos simétricos nos fornecem o instante cronométrico da estrela em sua passagem meridiana. A vantagem desta técnica é que o erro devido a orientação instrumental (azimutal) é anulado.

Este procedimento, descrito nos parágrafos anteriores, é repetido para cada estrela. Durante a observação de uma série (grupo) de estrela o teodolito não pode ser re-nivelado ou re-orientado.

No início e final de cada série são registradas a temperatura, pressão, tipo de cronógrafo utilizado (médio ou sideral) e emissora retransmissora dos sinais horários utilizada.

3.5 Correções

Sabe-se que a determinação da longitude, fundamentalmente, consiste em determinar a hora local. No método de Mayer, tem que ser considerado alguns erros sistemáticos, conforme segue:

1- Tempo de propagação

As ondas eletromagnéticas possuem uma velocidade finita, da ordem de 299.792,5 Km/s.

Em determinações astronômicas de alta precisão é considerado o tempo dispendido, pela onda portadora do sinal de rádio, para trafegar da emissora à antena do rádio receptor.

Segundo Mueller [12], este tempo de atraso pode ser calculado com a expressão;

$$V = (290 - a/(d+b)) \text{ Km/ms} \quad 3.13$$

$$\Delta T = D / V \quad 3.14$$

$$d = D / 1000 \quad 3.15$$

$$a = 139,41 \quad |$$

$$b = 2,9 \quad | \text{ (constantes empíricas)}$$

onde:

D - distância, em quilômetros, que separa a estação emissora da estação receptora;

V - Velocidade de propagação da onda de rádio; e

ΔT - Tempo dispendido pela onda de rádio.

O tempo de propagação calculado (ΔT), deve ser somado ao instante cronométrico das observações, ou então subtraído do estado do cronógrafo (determinado na comparação rádio-cronógrafo).

A estação emissora, utilizada neste trabalho foi a WWV, cujas coordenadas geográficas são 1131:

Latitude $40^{\circ}41'N$; e

Longitude $105^{\circ}02'W$. Sendo as coordenadas geográficas, aproximadas, da estação receptora:

Latitude $22^{\circ}07'S$; e

Longitude $51^{\circ}24'W$.

Conclui-se que a distância esférica que separa a estação emissora da estação receptora, é de aproximadamente 8900 Km.

Com a utilização das expressões 3.15, 3.13 e 3.14, calcula-se o tempo de propagação. Para a estação receptora em Presidente Prudente, tem-se que o tempo de propagação calculado é de 32ms (0,032s).

2- Correção de Emissão

As emissoras de rádio retransmitem sinais horários no sistema de Tempo Universal Coordenado (TUC), no entanto, este sistema de tempo, geralmente, está defasado em relação ao sistema de Tempo Universal (TU1), sistema de tempo fundamental da astronomia de posição.

A transformação do Sistema de Tempo Universal Coordenado em Tempo Universal é dado pela expressão:

$$DTU1 = TU1 - TUC \quad 3.16$$

O valor da correção DTU1 é divulgado pelo boletim B do Bureau Central de L'International Earth Rotation Service (IERS). Assim, esta correção somada algebricamente ao TUC nos fornece o TU1. Em Hatschbach [14], o leitor interessado encontra um estudo detalhado de tempo em astronomia.

3- Marcha e Estado do Cronógrafo

Entende-se por marcha de um marcador de tempo, como sendo a quantidade que este marcador adianta ou atrasa por unidade de tempo [15]. Estado de um marcador de tempo é definido como sendo a quantidade de tempo que o marcador está adiantado ou atrasado em relação a um determinado sistema de tempo, sideral ou médio [16].

Então,

$$E = H - T \quad 3.17$$

$$m = E - E_0 / (T - T_0) \quad 3.18$$

$$E = E_0 + m(T - T_0) \quad 3.19$$

Onde:

E - Estado do marcador de tempo;

E₀ - Estado inicial do marcador de tempo (obtido na comparação rádio-cronógrafo);

T - Instante cronométrico;

T₀ - Instante cronométrico, da comparação rádio-cronógrafo;

H - Hora correspondente ao instante cronométrico; e

m - Marcha do marcador de tempo (cronógrafo).

A qualidade de um cronógrafo está determinada pela estabilidade da marcha, pois conhecida esta marcha, pode-se atualizar o estado para qualquer instante físico desejado, e consequentemente, determinar a hora (H) correspondente.

4- Correção de Azimute (Aa)

Esta correção, na equação de Mayer (3.3), é desmembrada em duas parcelas, ou seja: Fator de azimute (A), que é calculado através da expressão 3.4, onde este fator de correção depende da declinação da estrela e da latitude da estação de observação; e desvio azimutal do instrumento (a).

O azimute do eixo de colimação do instrumento, depende da orientação do instrumento. Em determinação da longitude de alta precisão, esta orientação (fator a) tem de ser inferior a um segundo de tempo (1s). Este fator é determinado para cada

grupo de estrelas.

Na equação de Mayer (3.3), este fator (a), também é um parâmetro a ser determinado pelo método dos mínimos quadrados (M.M.Q.), conforme descrito no item 3.6 .

5- Correção de nível (Bb)

A correção de nível, também é decomposta em duas parcelas, o fator de nível (B) e a inclinação do eixo secundário do teodolito (b).

O fator de nível (B) é calculado através da equação 3.5, onde os parâmetros, para calcular este fator, independem do instrumento e sim da declinação da estrela e da latitude da estação (ponto) de observação.

A inclinação do eixo secundário do instrumento (b), depende apenas do instrumento. Esta inclinação (b) é calculada com uso da expressão 3.7 .

6- Correção de colimação e movimento perdido e espessura dos contatos (Cc)

O fator de colimação (C), depende exclusivamente da declinação da estrela observada e pode ser determinado através da expressão 3.6 .

A correção do movimento perdido e espessura dos contatos (c), é calculado em função das constantes do instrumento atra-

vés da equação 3.8 .

7- Correção da aberração diurna

O fenômeno causado pela relação entre a velocidade tangencial do observador, devido ao movimento de rotação da terra, e a velocidade de propagação da luz é conhecido, em astronomia, como aberração diurna (diária).

A velocidade tangencial, no equador é de aproximadamente 465 Km/s. Num local de latitude qualquer (φ) essa velocidade é dada por:

$$465 \text{ Km/s } \cos \varphi \quad 3.20$$

A correção da aberração diurna (k), neste trabalho, foi calculada com a expressão (3.21), apresentada por Gemael [17],

$$k = 0,0213s \cos \varphi \sec \delta \cos H \quad 3.21$$

onde:

φ - Latitude da estação de observação;

δ - Declinação da estrela; e

H - Angulo horário da estrela no instante da observação (na passagem meridiana $H = 0$, então, $\cos H = 1$).

A correção da aberração diurna k , é um valor que deve ser somado ao instante cronométrico da passagem meridiana da estrela, ou então subtraído da longitude calculada a partir do instante cronométrico da estrela observada.

8- Correção dos termos de curto período em nutação

A determinação das coordenadas uranográficas das estrelas, neste trabalho, desenvolveu-se através de interpolações pelas segundas diferenças (interpolações quadráticas). Nestas coordenadas não estão incluídos os termos de curto período em nutação.

Em determinações astronômicas de alta precisão, os termos de curto período em nutação devem ser considerados. No presente trabalho, este cálculo desenvolveu-se conforme apresentado por Gemael 1181.

3.6 Cálculo da Longitude

O desenvolvimento, para o cálculo da longitude, deu-se conforme segue:

- Cálculo do tempo de propagação, através da expressão 3.14;
- Correção de emissão, com uso da expressão 3.16;
- Correção da marcha e estado do cronógrafo, no instante cronométrico da passagem meridiana da estrela;

- Cálculo da longitude, com uso da expressão 3.10. Inicialmente sem considerar o desvio azimutal do instrumento (a);
- Cálculo do resíduo da longitude (ΔL) e desvio azimutal do instrumento (a), através da expressão 3.12. Aplicando o método dos mínimos quadrados (m.m.q.), isto para cada conjunto de estrelas (8 estrelas);
- Cálculo da longitude, para cada estrela do grupo, através da expressão 3.10; e
- Cálculo do erro médio quadrático da média, com uso da expressão 2.12 .

- Redução ao polo médio

A redução ao polo médio (CRPL) , deu-se através da expressão 3.22, dada por Hatschbach [19].

$$CRPL = -(x \sin L + y \cos L) \operatorname{tg} \varphi \quad 3.22$$

Onde:

x ; y - coordenada retangulares do polo instantâneo;

L - longitude da estação de observação; e

φ - latitude da estação de observação.

- Para exemplificar o procedimento de cálculos, fez-se uso do primeiro quadro de dados para cálculo da longitude. (Apêndice C)

CAPÍTULO IV

DETERMINAÇÃO SIMULTÂNEA DA LATITUDE E LONGITUDE

4.1 Introdução

Neste capítulo, procura-se tratar, fundamentalmente, da determinação simultânea da latitude e longitude astronômica, por observações às estrelas em um mesmo almicantarado. No presente trabalho escolheu-se o almicantarado de distância zenital trinta graus ($Z=30^{\circ}$).

Apresenta-se também a nova solução matemática, desenvolvida pelos pesquisadores L. A. Kivioja e J. A. Mihalko [20], pertencentes à School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana (USA). O trabalho desenvolvido por estes pesquisadores, foi apresentado com o título NEW METHOD FOR REDUCTION OF ASTROLABE OBSERVATIONS USING RECTANGULAR COORDINATES ON THE CELESTIAL SPHERE.

Neste método, as coordenadas do ponto podem ser determinadas a partir de observações à três estrelas, na prática devem ser observadas mais estrelas.

Na determinação simultânea através de observação a mais de três estrelas, objeto do presente trabalho, é conhecido como método de Gauss Generalizado, Chagas [21], a solução dá-se com uso do método dos mínimos quadrados.

No desenvolvimento deste capítulo, procurou-se abordar todas as etapas da determinação simultânea, ou seja, a elaboração da lista de estrelas, as operações de campo, as correções às observações, e finalmente o procedimento de cálculos.

4.2. Apresentação da Nova Solução

Definindo-se o sistema de coordenadas retangulares x , y e z , conforme segue:

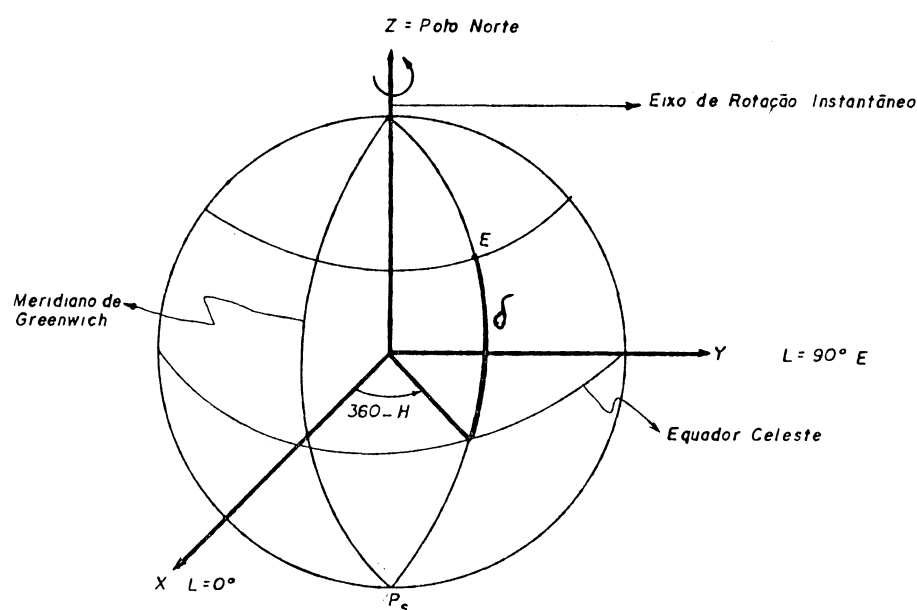


figura 2

onde:

- O Origem do sistema, coincidente com o centro da esfera celeste, que coincide com o centro de massa da Terra.
- Eixo Z . Coincidente com o eixo de rotação instantâneo da Terra. Orienta do positivamente para o polo norte.

- Eixo X. Formado pela interseção do plano que contém o meridiano de Greenwich com o plano que contém o equador celeste, orientado positivamente segundo o meridiano superior de Greenwich.
- Eixo Y. Completa o sistema direto.

Considerado o sistema de coordenadas retilíneas (acima), as coordenadas de uma estrela, em uma posição qualquer, pode ser determinada por:

$$\begin{aligned} X &= \cos \delta \cos (360 - H) & | \\ Y &= \cos \delta \sin (360 - H) & | \\ Z &= \sin \delta & | \end{aligned} \quad 4.1$$

Ou ainda:

$$\begin{aligned} X &= \cos \delta \cos H & | \\ Y &= -\cos \delta \sin H & | \\ Z &= \sin \delta & | \end{aligned} \quad 4.2$$

Onde:

δ - declinação da estrela; e

H - Ângulo horário da estrela no almicantarado.

A geometria analítica nos ensina que a distância de um ponto(P_1) de coordenadas x_1 , y_1 , e z_1 , de um sistema de coordenadas ortogonal, à origem do sistema, pode ser calculada com

a expressão:

$$l_1 = (x_1^2 + y_1^2 + z_1^2)^{1/2} \quad 4.3$$

Nos ensina também, que o ângulo formado por dois segmentos de reta, na origem do sistema, é dado por:

$$\cos Z = (x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2) / l_1 l_2 \quad 4.4$$

Sendo um dos pontos 1 e outro o zênite, então conforme definido acima, o ângulo Z é então a distância zenital da estrela.

Estando os pontos (estrelas) na superfície da esfera celeste, cujo centro coincide com a origem do sistema de coordenadas retilíneas, a expressão 4.4 pode ser reescrita:

$$\cos Z = x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2 \quad 4.5$$

Caso tenhamos n estrelas, observadas com a mesma distância zenital, ter-se-á:

$$\begin{aligned} x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2 &= \cos Z \quad | \\ x_2 x_2 + y_2 y_2 + z_2 z_2 &= \cos Z \quad | \\ x_3 x_2 + y_3 y_2 + z_3 z_2 &= \cos Z \quad | \\ \cdot & \quad | \\ \cdot & \quad | \\ x_n x_2 + y_n y_2 + z_n z_2 &= \cos Z \quad | \end{aligned} \quad 4.6$$

Como, a declinação do zênite é numericamente igual à latitude (φ) da estação de observação.

O ângulo formado pelo plano que contém o meridiano de Greenwich e o plano que contém o meridiano local é definida como longitude (L).

Pode-se obter as coordenadas retangulares do zênite através das seguintes expressões:

$$\begin{aligned}x_z &= \cos \varphi \cos L & 1 \\y_z &= \cos \varphi \sin L & 1 \\z_z &= \sin \varphi & 1\end{aligned}\tag{4.7}$$

Assim, a latitude e a longitude astronômica de um ponto podem ser determinadas a partir das coordenadas retangulares do zênite, conforme segue:

$$\varphi = \arctan(z_z / (x_z^2 + y_z^2)^{1/2})\tag{4.8}$$

$$L = \arctan(y_z / x_z)\tag{4.9}$$

4.3 Programa de Observações

Para a elaboração da lista de estrelas, neste trabalho almicantarado de distância zenital trinta graus ($Z=30^\circ$), foram impostas algumas restrições às estrelas a serem observadas, ou sejam:

- a. Ter magnitude entre 3.0 e 7.0;

b. Azimute(A) de observação próximo à região central dos quadrantes. Robbins¹²²¹ recomenda que o azimute não esteja afastado por mais de 10° da região central dos quadrantes; e

c. Período de observação, para cada grupo de estrelas, menor que duas horas.

Uma restrição imposta ao método, é que as estrelas devem ter declinação compreendida entre $\varphi + Z$ e $\varphi - Z$. Isto para uma estação de observação de latitude φ , no almicantarado de distância zenital Z .

Para a estação de observação onde desenvolveu-se este trabalho, latitude de $22^{\circ}07'18''S$, os limites de declinação das estrelas a serem observadas, no almicantarado $Z = 30^{\circ}$ foram $52^{\circ}07'18''S$ e $7^{\circ}52'42''N$.

Dado o triângulo de posição,

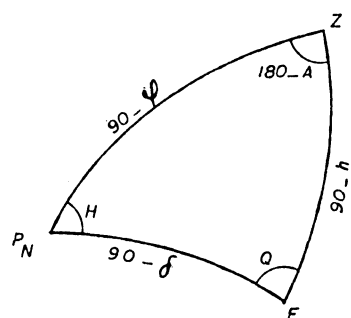


figura 3

Onde:

Z - Distância zenital da estrela;

E - Estrela (em uma posição qualquer);

φ - Latitude da estação de observação;

P_N - Polo norte;

h - Altura da estrela;

A - Azimute da estrela;

Q - Ângulo paralático;

H - Ângulo horário da estrela E ; e

δ - Declinação da estrela.

Aplicando-se a fórmula dos quatros elementos, relativa a lados, da trigonometria esférica, no triângulo de posição (figura 3), tem-se:

$$\cos(90-\delta) = \cos(90-\varphi) \cos(90-h) + \sin(90-\varphi) \sin(90-h) \cos(180-A) \quad 4.10$$

ou,

$$\sin\delta = \sin\varphi \cos Z - \cos\varphi \sin Z \cos A \quad 4.11$$

ou ainda,

$$\cos A = \operatorname{tg}\varphi \cotg Z - \sec\varphi \operatorname{cosec} Z \sin\delta \quad 4.12$$

Aplicando-se a analogia dos senos no triângulo de posição, tem-se:

$$\frac{\sin H}{\sin(90-h)} = \frac{\sin(180-A)}{\sin(90-\delta)} \quad 4.13$$

ou,

$$\text{sen } H = \text{sen } Z \sec \delta \text{ sen } A$$

4.14

Com auxílio da expressão 4.11, determinam-se os limites de declinação, das estrelas a serem observadas, de maneira a atender a recomendação dada por Robbins.

Assim, atendendo-se a esta recomendação, os limites de declinação das estrelas para observação no primeiro e quarto quadrantes,

$$-44^{\circ}52'26'' < \delta < -36^{\circ}17'05'' ,$$

Observação no segundo e terceiro quadrantes,

$$-3^{\circ}27'56'' < \delta < 3^{\circ}03'20''$$

Então, para esses limites de declinação (acima), o ângulo horário das estrelas será menor que uma hora e quarenta minutos (1h40min), em valor absoluto. Assim, recomenda-se que a escolha das estrelas de um catálogo estelar seja feita, conforme segue:

- a. Decidida a hora legal do início das observações, através da expressão 2.7, determina-se a hora sideral correspondente ao início dos trabalhos(S_i);
- b. Através da expressão 3.1, determina-se o ângulo horário que a estrela cruzará o almicantarado;

- c. O cálculo da hora sideral, que a estrela cruza o almicantarrado, dá-se através da expressão 3.1 ($S = H + \alpha$). Onde, H será positivo para observações às estrelas de azimutes pertencentes ao primeiro e segundo quadrantes ($0^\circ < A < 180^\circ$), negativo no terceiro e quarto quadrantes ($180^\circ < A < 360^\circ$); e
- d. A expressão 4.12, proporciona o cálculo do azimute da estrela no almicantarrado. Onde, o azimute será positivo para observações a oeste do meridiano local, e negativo para observações a leste.

Estrelas observáveis com ângulo horário (H) positivo, terão correspondente azimute também positivo, ou seja, pertencentes ao primeiro ou segundo quadrantes. Estrelas observáveis com ângulo horário negativo, terão correspondente azimute também negativo, ou seja, pertencentes ao terceiro ou quarto quadrantes.

Então, para observação às estrelas a leste o ângulo horário mínimo das estrelas será de 1h40min. A equação 3.1, permite o cálculo do limite inferior da ascensão reta (α) das estrelas,

$$\alpha = S_i - H \quad 4.15$$

ou,

$$\alpha > S_i + 1h40min$$

Com desenvolvimento similar, estrelas observáveis a oeste, devem ter ascensão reta (α)

$$\alpha > S_i - 1^{\text{h}}40^{\text{min}}.$$

O período de observação às estrelas, de um mesmo grupo, não deve ser superior a duas horas, esta recomendação, deve-se ao fato de as condições atmosféricas serem consideradas constantes, neste intervalo considerado.

Sempre que o período de observações for maior que duas horas, as estrelas devem ser tratadas como pertencentes a grupos diferentes.

Um grupo de estrelas deve ser formado por estrelas pertencentes aos quatro quadrantes, ou seja, caso o grupo seja composto por quarenta (40) estrelas, a distribuição ideal será de dez estrelas por quadrantes. O recomendado, é que na formação de um grupo, a distribuição das estrelas, nos quadrantes, sejam iguais, mesmo número de estrelas por quadrante.

PROGRAMA DE OBSERVAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO SIMULTÂNEA

Estr.	mg	Alfa	Delta	H.Sidereal	Azimuth
728	4,1	19h23min08s	-40°38'27	17h31min12s	314°35'35"
753	4,6	20 01 59	-27 44 36	17 51 35	287 30 48
709	4,5	18 55 40	04 11 17	17 56 43	210 29 14

Estr.	mg	Alfa		Delta			H.Sideral		Azimuth
599	4,3	16	05	51	-36	46 35	18 07	06	53 57 08
597	3,0	16	04	47	-19	46 39	18 13	07	88 29 06
607	3,1	16	20	30	-25	34 10	18 31	09	76 56 12
1439	3,0	16	51	06	-38	01 59	18 49	57	51 14 20
638	3,4	17	11	21	-43	13 46	18 54	14	39 13 46
1543	4,6	20	47	10	-05	04 10	19 05	06	239 06 59
794	4,5	21	09	00	-11	25 04	19 11	36	253 56 14

4.4 Operações de Campo

Estando o instrumento instalado e nivelado, na estação de observação, faz-se a orientação aproximada do mesmo. A orientação do instrumento pode ser aproximada, pois a finalidade desta orientação é apenas para que a estrela, contida na lista de estrela, possa ser observada.

Registra-se no círculo de leitura vertical do instrumento, a distância zenital do almicantarado, onde serão efetuadas as observações a todas as estrelas.

O micrômetro impessoal, deve ser acoplado ao teodolito, de maneira que seu retículo móvel fique paralelo ao retículo horizontal do instrumento(teodolito).

Em um relógio auxiliar, registra-se a hora sideral local aproximada. A finalidade deste é de orientar o observador, para o instante da passagem da estrela pelo almicantarado.

No início, meio e fim de cada período de observação (grupo de estrelas), faz-se a comparação rádio-cronógrafo, conforme descrito no item 3.4, e também a leitura de pressão e temperatura.

Registra-se, no círculo de leituras horizontal, o azimute da primeira estrela a ser observada. No micrômetro impessoal, afasta-se o retículo móvel aproximadamente duas (2) voltas do retículo médio horizontal do instrumento.

A imagem da estrela, ao adentrar no campo visual da luneta do teodolito, nivela-se o nível de Horrebow do teodolito. Este procedimento foi tomado para todas as estrelas observadas.

A imagem da estrela ao atingir o retículo móvel do micrômetro impessoal, acompanha-se a por aproximadamente quatro voltas completas do micrômetro impessoal.

4.5 Correções

O método de determinação simultânea da latitude e longitude astronômica por observações de estrelas em um mesmo almicantarado, fundamentalmente, são observados os instantes cronométricos em que as estrelas cruzam o almicantarado. Assim, devem-se fazer correções aos instantes observados.

No presente trabalho, as correções efetuadas foram:

1. Refração atmosférica, conforme descrito no item cinco (5) do capítulo II;
2. Tempo de propagação, conforme apresentado em um (1) do item cinco (5) do capítulo III;
3. Emissão, conforme dois(2) do item cinco(5) do capítulo III.
4. Marcha e estado do cronógrafo, conforme três (3) do item cinco(5) do capítulo III;
5. Aberração diurna, conforme apresentado em sete (7) do item cinco(5) do capítulo III; e
6. Correção do termos de curto período em nutação, conforme apresentado em oito (8) do item cinco (5) do capítulo III.

4.6 Cálculo Simultâneo da Latitude e Longitude

O desenvolvimento, para o cálculo simultâneo da latitude e longitude, no presente trabalho, deu-se conforme segue:

- Cálculo da refração atmosférica, com uso da expressão 2.8 e 2.9;
- Cálculo do tempo de propagação, através da equação 3.13,

3.14 e 3.15. O valor determinado foi somado ao instante observado de cada estrela;

- Cálculo do tempo universal (TU1), através da equação 3.16;
- Cálculo da marcha e estado do cronógrafo, através da equação 3.17, 3.18 e 3.19;
- Cálculo da aberração diurna, através da expressão 3.21;
- Cálculo da hora sideral aparente de Greenwich, correspondente ao mesmo instante físico da passagem da estrela pelo almucantarado, através da equação 2.7;

$$S = S_0 + (H1 - F) 1,002737909265 \quad 2.7$$

- Cálculo do ângulo horário da estrela, através da equação 3.1;
- Cálculo das coordenadas retangulares das estrelas, através das expressões 4.2;
- De posse das coordenadas retangulares das estrelas, com as equações 4.6 e auxílio do método dos mínimos quadrados, determinam-se as coordenadas retangulares do zênite ajustadas.
- Com as coordenadas ajustadas do zênite, através da equação 4.8, determina-se a latitude da estação. E através da equação 4.9 a longitude

Na equação 4.6 não é possível expressar as observações como função explícita das incógnitas. Gemael [23] nos ensina, que nesta condição, deve-se então fazer uso do método combinado.

- As reduções ao polo médio deram-se através das equações 2.11 e 3.22 .

CAPÍTULO V

RESULTADOS E CONCLUSÕES

5.1. Introdução

Neste capítulo, descrevem-se os resultados determinados para cada método de observação, bem como as vantagens e desvantagens dos métodos utilizados.

5.2 Resultados

A determinação da latitude, pelo método de Sterneck, deu-se em dois períodos (noites) de observação. Nestes períodos, foi possível observar um total de 100 (cem) estrelas, ou seja, dez grupos contendo dez estrelas cada. A observação de cinco grupos deu-se em 28 de julho, e cinco grupos em 29 de julho de 1988.

Das observações do primeiro período, rejeitaram-se três pares de estrelas, todos pertencentes a grupos diferentes. No segundo período, rejeitaram-se quatro pares, também pertencentes a grupos diferentes.

Dos pares observados e aproveitados, a latitude calculada, sem a redução ao geóide, foi de $22^{\circ}07'18,8''S \pm 0,1''$.

A determinação da longitude pelo método de Mayer, deu-se em dois períodos de observação. Nestes períodos foi possível observar um total de sessenta e quatro (64) estrelas, ou sejam, oito grupos de oito estrelas. A observação de quatro grupos deu-se no dia 28 e quatro grupos em 29/julho/1988

Rejeitaram-se duas estrelas referentes às observações do dia 28 de julho e quatro referentes ao dia 29 de julho. Onde desprezou-se um grupo, pois três das estrelas rejeitadas pertenciam ao mesmo grupo.

Das observações aproveitadas, a longitude da estação de observação calculada, foi de $3h25min37,531sW \pm 0,008s$, ou $51^{\circ}24'22,97''W \pm 0,12''$.

A determinação simultânea da latitude e longitude, deu-se em quatro períodos de observação, totalizando 112 (cento e doze) estrelas observadas, a saber:

. Na noite do dia 20 de agosto de 1988, observaram-se 29 (vinte e nove) estrelas. Com auxílio do ajustamento de observações, deu-se o aproveitamento de 16 (dezessis) estrelas, as quais proporcionaram o resultado:

$$\varphi = -22^{\circ}07'18,5'' \pm 1,1'' ; e$$

$$L = -51^{\circ}24'21,9'' \pm 0,7''.$$

. Na noite de 22 de agosto de 1988, observaram-se 16 (dezesseis) estrelas. Aproveitaram-se 16 (dezesseis) estrelas,

as quais proporcionaram um resultado de:

$$\varphi = -22^{\circ}07'18,0'' \pm 1,0'' ; e$$

$$L = -51^{\circ}24'21,8'' \pm 1,0''.$$

- . Na noite do dia 4 de outubro de 1988, observaram-se 27 (vinte e sete) estrelas. Com aproveitamento de 20, os resultados apresentados foram

$$\varphi = -22^{\circ}07'18,2'' \pm 0,5 , e$$

$$L = -51^{\circ}24'21,5'' \pm 0,5.$$

- . Na noite do dia 5 de outubro de 1988, observaram-se 40 (quarenta) estrelas. Provavelmente, devido à grande instabilidade atmosférica, apresentada neste dia, o ajustamento de observação regeitou todas as estrelas neste período.

- . Desprezado o último dia de observação, obtém-se como resultado final para a determinação simultânea:

$$\varphi = -22^{\circ}07'18,2'' \pm 0,1'' ; e$$

$$L = -51^{\circ}24'21,7'' \pm 0,1''.$$

QUADRO DOS RESULTADOS OBTIDOS

MÉTODO	STERNECK	MAYER	DET.SIMULTÂNEA
Nº estrelas observadas	100	64	112
Nº estrelas rejeitadas	14	11	60
Nº estrelas aproveitadas	86	53	52
Tempo de observação	6h50min	7h30min	15h40min
φ	$-22^{\circ}07'18,8'' \pm 0,1''$	-	$-22^{\circ}07'18,2'' \pm 0,1''$
L	-	$-51^{\circ}24'23,0'' \pm 0,1''$	$-51^{\circ}24'21,7'' \pm 0,1''$

5.3 Conclusão

Diante dos resultados obtidos, o método de determinação simultânea apresentou resultados de alta precisão, pois o erro médio quadrático da média dos três períodos de observação foi de $0,1''$ (um décimo de segundo de arco), tanto para latitude quanto para longitude.

Quanto ao tempo dispendido para observações de campo, os métodos de Sterneck e Mayer comparados com o de determinação simultânea, mostraram ser aproximadamente os mesmos.

O cálculo da latitude e longitude, pelo método de determinação simultânea, mostrou ser menos prático, pois a rejeição de algumas das estrelas observadas é mais laboriosa, isto comparado com os métodos de Mayer e Sterneck.

Para encerrar, o autor deseja externar seu desejo de, em trabalhos futuros, realizar novas pesquisas com o método de determinação simultânea da latitude e longitude por observação de estrelas em alturas iguais, e continuar a análise dos resultados desta pesquisa.

NOTAS DE REFERÊNCIA

- 1011 HATSCHBACH, F. Redução de Coordenadas Celestes e Identificação de Estrelas em Catálogos Gravados em Fitas Magnéticas. Programas em Linguagem FORTRAN IV. Curitiba. Tese de Mestrado . Universidade Federal do Paraná-UFPr. 1975. p.14
- 1021 HATSCHBACH, F. Determinações astronômicas. Curitiba. Diretório Acadêmico do Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. 1981. p.01.
- 1031 GEMAEI, C. Introdução à Astronomia Esférica. Curitiba. Diretório Acadêmico do Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. 1981. p.1.10.
- 1041 COSTA, S. M. A. Projeto Pró-Astro. Curitiba. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 1988. p.85.
- 1051 ROBBINS, A. R. Field and Geodetic Astronomy, Military Engineering, 13(9), 1976. p.9-17 e 9-18.
- 1061 ASTRONOMICHES RECHEN - INSTITUT. Apparent Places of Fundamental Stars. Heidelberg, International Astronomical Union, 1988. 485 p.
- 1071 COSTA, S. M. A. p. 85.
- 1081 ROBBINS, A. R. p.25-1.
- 1091 HATSCHBACH, F. Redução de Coordenadas Celestes e Identificação de Estrelas em Catálogos Gravados em Fitas Magnéticas. Programas em Linguagem FORTRAN IV. Curitiba. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 1975. p. 114

- 1101 HATSCHBACH, F. p. 61 - 78.
- 1111 ROBBINS, A. R. p.29.1
- 1121 MUELLER, I. I. Spherical and practical Astronomy as Applied to Geodesy. New York. Frederick Ungar Publishing CO. 1977. p. 372.
- 1131 MUELLER, I. I. p. 365.
- 1141 HATSCHBACH, F. Tempo em Astronomia. Curitiba. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Departamento de Geociências. Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. 1979. p. 26 - 28.
- 1151 Moller, O. O. Contribuição à Terminologia Brasileira de Astronomia. Rio de Janeiro. Diretoria do Serviço Geográfico. 1967. p. 23.
- 1161 HATSCHBACH, F. Tempo em Astronomia. p. 15.
- 1161 MUELLER, I. I. p. 312.
- 1171 GEMAEL, C. p. 7.18
- 1181 GEMAEL, C. p. 7.24
- 1191 HATSCHBACH, F. Redução de Coord.... p. 114.
- 1201 KIVIOJA, L. A. and MIHALKO, J. A. New Method for Reduction of Astrolabe Observations Using Rectangular Coordinates in the Celestial Sphere. Bulletin Geodésique. Paris, vol. 59. núm. 4. 1985. p.391 - 395.
- 1211 CHAGAS, C. B. Astronomia Geodésica. Rio de Janeiro RJ. Diretoria do Serviço Geográfico. 1965. p.265.
- 1221 ROBBINS, A. R. p.34.2
- 1231 GEMAEL, C. Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas. Diretório Acadêmico do Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. 1984. p. 10.1.

A P Ê N D I C E S

AFENDICE A - PROGRAMA PARA CALCULO SIMULTANEO DA LATITUDE E LONGITUDE

```
$debug
```

```
C      PROGRAMA DESIM.FOR      ARANA
C      ESTE PROGRAMA FAZ A DETERMINACAO SIMULTANEA DA LATITUDE E LONGITUDE,
C      POR OBSERVACAO DE ESTRELA EM ALTURAS IGUAIS
```

```
C
C-----
C      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
C      DIMENSION ALDHL(24,4), G(2,3), GT(3,2), XMVC(2,2)
C      DIMENSION XO(3,1), A(25,3), B(25,26), P(26,26), W(25,1), BP(25,26)
C      DIMENSION BT(26,25), XM(25,25), VA(25), AT(3,25), ATXM(3,25)
C      DIMENSION VB(3), XA(3,1), ATAT(3,25), X(3,1), XK(25,1), AX(25,1)
C      DIMENSION XKT(1,25), XLB(26,1), XLA(26,1), PBT(26,25), ATXMA(3,3)
C      DIMENSION V(26,1), PBTXM(26,25), PBTMA(26,3), PAT(26,3), PATH(26,25)
C      DIMENSION PATBP(26,26), PBBP(26,26), PAPB(26,26), PAPP(26,26)
C      DIMENSION XLB1(26,1), VAR(26,1), VC(26)
C      DATA P/676*0.D0/, A/75*0.D0/, B/650*0.D0/
```

```
C-----
C      DEFINICAO DOS ARQUIVOS DE ENTRADA E SAIDA.
```

```
      OPEN(5,FILE='SIMU.DAT',STATUS='OLD')
      OPEN(6,FILE='SAIS.DAT',STATUS='NEW')
```

```
C-----
C      DEFINICAO DAS UNIDADES
```

```
C      N = No DE ESTRELAS OBSERVADAS
C      NU = No DE PARAMETROS
C      NR = No DE EQUACOES DE OBSERVACAO
C      XLB = VETOR DAS OBSERVACOES
C      XO = VETOR DOS PARAMETROS INICIAIS
C      XA = VETOR DOS PARAMETROS AJUSTADOS
C      P = MATRIZ PESO
C      XLA = VETOR DAS OBSERVACOES AJUSTADAS
```

```
C-----
C      LEITURA DOS DADOS DE ENTRADA
C      READ(5,*) N,NU,NR,S0,DZ
```

```
C      LEITURA DOS PARAMETROS INICIAIS
C      READ(5,*) (XO(I,1),I=1,NU)
```

```
C      LEITURA DO CRITERIO DE CONVERGENCIA (CRICO)
C      READ(5,*) CRICO
```

```
C      LEITURA DO NUMERO MAXIMO DE ITERACOES (NITER)
C      READ(5,*) NITER
C      N2=N+2
C      N1=N+1
```

```
C      LEITURA DA VARIANCIAS
C      READ(5,*) (VAR(I,1),I=1,N+2)
```

```
C      LEITURA DA MATRIZ DE ENTRADA (ALDHL)
C      N. DA ESTRELA, ALFA, DELTA, HORA LEGAL DA OBSERVACAO
C      READ(5,*) ((ALDHL(I,J),J=1,4),I=1,N)
```

```
C-----
C      CALCULO DE NOVA ITERACAO
C      INT = 0
```

```

C-----
C      FORMACAO DA MATRIZ DOS PESOS

      DO 63 I=1,N2
        P(I,I)=1.0/VAR(I,1)
63    CONTINUE
C-----
C      CALCULO DA MATRIZ A
      CALL AGUDEC(DZ,ZEDEC)
      CALL DECRAD(ZEDEC,ZERAD)
      XLB(N1,1)=ZERAD
      OBF=0.00
      XLB(N2,1)=OBF
      COZEN= DCOS(ZERAD)
      CALL AGUDEC(S0,S0D)
      write (6,*) 'MATRIZ DE ENTRADA'
      WRITE(6,*) ((ALDHL(I,J),J=1,4),I=1,N)
C      TRANSFORMA OS DADOS DE ENTRADA EM DECIMAL
C
      TRAN=366.2422D0/365.2422D0
      DO 22 I=1,N
        DO 22 J=2,4
          CALL AGUDEC(ALDHL(I,J),ALDHL(I,J))
22    CONTINUE
C
C      CALCULO DO ANGULO HORARIO DA ESTRELA (GREENWICH)
      DO 31 I=1,N
        SG=S0D+((ALDHL(I,4)+3.00)*TRAN)-24.00
        ALDHL(I,4)=(SG-ALDHL(I,2))*15.00
31    CONTINUE
C
C      TRANSFORMACAO PARA RADIANO
      DO 44 I=1,N
        DO 44 J=3,4
          CALL DECRAD(ALDHL(I,J),ALDHL(I,J))
44    CONTINUE
C
C      CORRECAO ABERRACAO DIURNA
C
      DO 47 I =1,N
        ALDHL(I,4) = ALDHL(I,4) + (0.000000155140378D0 * 0.9263862937D0
          *DCOS(ALDHL(I,4)) / DCOS(ALDHL(I,3)))
        XLB(I,1) = ALDHL(I,4)
47    CONTINUE
C
C      CALCULO DAS COORDENADAS RETANGULARES DAS ESTRELAS
1500  CONTINUE
      DO 50 I=1,N
        A(I,1)=DCOS(ALDHL(I,3))*DCOS(ALDHL(I,4))
        A(I,2)=-(DCOS(ALDHL(I,3))*DSIN(ALDHL(I,4)))
        A(I,3)=DSIN(ALDHL(I,3))
50    CONTINUE
        A(N1,1)=2.00*(XO(1,1))
        A(N1,2)=2.00*(XO(2,1))
        A(N1,3)=2.00*(XO(3,1))
C
C-----
C      CALCULO DA MATRIZ B
      DO 2000 I=1,N
        B(I,I)=-DCOS(ALDHL(I,3))*DSIN(ALDHL(I,4))*XO(1,1)
        -DCOS(ALDHL(I,3))*DCOS(ALDHL(I,4))*XO(2,1)
        B(I,N1)=DSIN(ZERAD)

```

```

2000  CONTINUE
      B(N1,N2)=1.D0
C
C-----
C      DUPLICACAO DO VETOR LB PARA USO DE ITERACAO
      WRITE (6,*) 'VETOR LB'
      DO 13 I=1,N2
        XLB1(I,1)=XLB(I,1)
        WRITE (6,*) XLB1(I,1)
13    CONTINUE
C-----
C      CALCULO DO VETOR ERRO DE FECHAMENTO
      DO 4000 I=1,N
        W(I,1)=DCOS(ALDHL(I,3))*DCOS(ALDHL(I,4))*XO(1,1)
        . -DCOS(ALDHL(I,3))*DSIN(ALDHL(I,4))*XO(2,1)
        . +DSIN(ALDHL(I,3))*XO(3,1)-DCOS(ZERAD)
4000  CONTINUE
      W(N1,1)=XO(1,1)*XO(1,1)+XO(2,1)*XO(2,1)+XO(3,1)*XO(3,1)
      . -1.D0+OBF
C
      WRITE (6,*) 'VETOR W'
      DO 2222 I=1,N1
        WRITE(6,*) W(I,1)
2222  CONTINUE
C
C-----
C      CALCULO DO AJUSTAMENTO
      CALL COMB(N2,NU,NR,A,B,P,W,BP,BT,XM,VA,AT,ATXM,ATXMA,VB,VC,
$ATAT,X,XK,AX,XKT,VTPV,XLB,XLA,PBT,V,PBTXM,PBTMA,PAT,PATM,PATBF,
$PBBP,PAPB,PAPP,XA,XO,SIGMA,CRICO,NITER,XLB1,INT,*1500)
C
C      CALCULO DA LATITUDE E LONGITUDE
C
      XLAT=DATAN (XA(3,1)/SQRT(XA(1,1)*XA(1,1)+XA(2,1)*XA(2,1)))
      XLONG=DATAN (XA(2,1)/XA(1,1))
      CALL RADANG (xlat,xlat)
      CALL radang (xlong,xlong)
C
C      CALCULO DO DESVIO PADRAO DA LATITUDE E LONGITUDE
C
      DET=XA(1,1)*XA(1,1)+XA(2,1)*XA(2,1)
      RDET=SQRT(DET)
      G(1,1)=-XA(3,1)*XA(1,1)/RDET
      G(1,2)=-XA(3,1)*XA(2,1)/RDET
      G(1,3)= RDET
      G(2,1)=-XA(2,1)/DET
      G(2,2)= XA(1,1)/DET
      G(2,3)= 0.D0
      CALL MULTIP(G,ATXMA,GMVC,2,3,3)
      CALL TRANSP(G,GT,2,3)
      CALL MULTIP(GMVC,GT,XMVC,2,3,2)
      DPLAT=SQRT(XMVC(1,1))
      DPLONG=SQRT(XMVC(2,2))
      call radang(dplat,dplat)
      call radang(dplong,dplong)
C
C      IMPRESSAO DA LATITUDE, LONGITUDE E RESPECTIVOS DESVIO PADRAO
C
      write (6,*) 'latitude e longitude E DP'
      WRITE (6,*) XLAT,DPLAT

```

```
WRITE (6,*) XLONG,DPLONG
```

```
C-----
C      IMPRESSAO DOS RESIDUOS E DESV. PAD. DAS OBSERVACOES
      write (6,*) 'RESIDUO E DESVIO PADRAO DAS OBSERVACOES AJUST.'
      J=1
      DO 8030 I=1,N2
      WRITE(6,*) J,V(I,1),PAPP(I,I)
      J=J+1
8030   CONTINUE
      write(6,*) 'coordenadas do zenite'
      WRITE(6,*) XA(1,1),SQRT(ATXMA(1,1))
      WRITE(6,*) XA(2,1),SQRT(ATXMA(2,2))
      WRITE(6,*) XA(3,1),SQRT(ATXMA(3,3))
      WRITE(6,*) INT,SIGMA
      END
```

```
C      SUBROUTINE QUE AJUSTA PELO M. COMBINADO
```

```
      SUBROUTINE COMB(N,NU,NR,A,B,P,W,BP,BT,XM,VA,AT,ATXM,ATXMA,VB,VC,
      *ATAT,X,XK,AX,XKT,VTPV,XLB,XLA,PBT,V,PBTXM,PBTMA,PAT,PATM,PATBP,
      *PBBP,PAPB,PAPP,XA,XO,SIGMA,CRICO,NITER,XLB1,INT,*)
```

```
      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
```

```
      DIMENSION XO(3,1),A(25,3),B(25,26),P(26,26),W(25,1),BP(25,26)
      DIMENSION BT(26,25),XM(25,25),VA(25),AT(3,25),ATXM(3,25)
      DIMENSION ATXMA(3,3),VB(3),XA(3,1),ATAT(3,25),X(3,1)
      DIMENSION XK(25,1),AX(25,1),XKT(1,25),XLB(26,1),XLA(26,1)
      DIMENSION PBT(26,25),V(26,1),PBTXM(26,25),PBTMA(26,3),PAT(26,3)
      DIMENSION PATM(26,25),PATBP(26,26),PBBP(26,26),PAPB(26,26)
      DIMENSION PAPP(26,26),XLB1(26,1),vc(26)
```

```
C      DETERMINACAO DE X=-(ATMA)**-1*ATM**-1*W
C      CALCULO DE M=BP**-1*BT
      CALL VERSOL(P,VC,N)
      CALL MULTIP(B,P,BP,NR,N,N)
      CALL TRANSP(B,BT,NR,N)
      CALL MULTIP(BP,BT,XM,NR,N,NR)
      CALL VERSOL(XM,VA,NR)
      CALL TRANSP(A,AT,NR,NU)
      CALL MULTIP(AT,XM,ATXM,NU,NR,NR)
      CALL MULTIP(ATXM,A,ATXMA,NU,NR,NU)
      CALL VERSOL(ATXMA,VB,NU)
      CALL MULTIP(ATXMA,ATXM,ATAT,NU,NU,NR)
      CALL MULTIP(ATAT,W,X,NU,NR,1)
      E = (-1.D0)
      CALL ESCALA(E,X,NU,1)
      WRITE (6,*) 'VETOR X'
      WRITE (6,*) X(1,1),X(2,1),X(3,1)
      CALL ADICAO(XO,X,XA,NU,1)
```

```
C      CALCULO DO VETOR DOS CORRELATOS
```

```
      CALL MULTIP(A,X,AX,NR,NU,1)
      CALL ADICAO(AX,W,AX,NR,1)
      CALL MULTIP (XM,AX,XK,NR,NR,1)
      CALL ESCALA (E,XK,NR,1)
```

```
C      CALCULO DO SIGMA A POSTERIORI
```

```
C      CALCULO DO VTPV
      CALL TRANSP(XK,XKT,NR,1)
```

```

CALL MULTIP(XKT,W,VTPV,1,NR,1)
VTPV = E*VTPV
SIGMA = VTPV/(NR-NU)

```

C CALCULO DOS RESIDUOS

```

CALL MULTIP(P,BT,PBT,N,N,NR)
CALL MULTIP(PBT,XK,V,N,NR,1)

```

C TESTE PARA VERIFICAR O No MAXIMO DE ITERACOES

```

IF (INT.LT.NITER) GO TO 40

```

```

WRITE(6,70) NITER

```

70 FORMAT (10X,'NAO CONVERGIU COM ',I3,'ITERACOES')

```

STOP

```

40 CONTINUE

C COMPARACAO DOS INCREMENTOS PARA DETERMINAR A CONVERGENCIA

```

DO 500 I=1,NU

```

```

IF(ABS(X(I,1))-CRICO)50,50,60

```

500 CONTINUE

50 GO TO 800

60 DO 610 I=1,NU

```

XO(I,1)=XA(I,1)

```

610 CONTINUE

```

DO 620 J=1,N

```

```

XLB1(J,1)=XLB(J,1)+V(J,1)

```

620 CONTINUE

```

INT=INT + 1

```

```

RETURN 1

```

800 CONTINUE

C CALCULO DOS VALORES OBSERVADOS AJUSTADOS 'LA'

```

CALL ADICAO (XLB,V,XLA,N,1)

```

C CALCULO DA MVC DE LA

```

CALL MULTIP(PBT,XM,PBTXM,N,NR,NR)

```

```

CALL MULTIP(PBTXM,A,PBTMA,N,NR,NU)

```

```

CALL MULTIP(PBTMA,ATXMA,PAT,N,NU,NU)

```

```

CALL MULTIP(PAT,ATXM,PATM,N,NU,NR)

```

```

CALL MULTIP(PATM,BP,PATBP,N,NR,N)

```

```

CALL MULTIP(PBTXM,BP,PBBP,N,NR,N)

```

```

CALL SUBTRA(PATBP,PBBP,PAPB,N,N)

```

```

CALL ADICAO(P,PAPB,PAPP,N,N)

```

```

CALL ESCALA (SIGMA,PAPP,N,N)

```

```

DO 100 I=1,N

```

```

PAPP(I,1)=SQRT(PAPP(I,1))

```

100 CONTINUE

C CALCULO DA MVC DE XA

```

CALL ESCALA(SIGMA,ATXMA,NU,NU)

```

```

RETURN

```

```

END

```

```

SUBROUTINE VERSOL(A,B,I)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
DIMENSION A(I,I),B(I)
IF(I.EQ.1) GO TO 10
IM=I-1
DO 5 K=1,I
DO 2 J=1,IM
2  B(J)=A(1,J+1)/A(1,1)
  B(I)=1./A(1,1)
DO 4 L=1,IM
DO 3 J=1,IM
3  A(L,J)=A(L+1,J+1)-A(L+1,1)*B(J)
4  A(L,1)=-A(L+1,1)*B(I)
DO 5 J=1,I
5  A(I,J)=B(J)
RETURN
10  A(1,1)=1./A(1,1)
    RETURN
    END

```

```

SUBROUTINE TRANSP(A,B,I,J)
C  ****
C  ****
C  **  PROPOSITO: ESTA SUBROTINA CALCULA A TRANSPOSTA DA MATRIZ A.  **
C  **  CHAMADA: CALL TRANSP(A,B,I,J).
C  **  PARAMETROS:
C  **          A: MATRIZ DE ENTRADA, DIM: A(I,J).
C  **          B: MATRIZ TRANSPOSTA DE A, DIM: B(J,I).
C  **          I: NUMERO DE LINHAS DA MATRIZ A.
C  **          J: NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ A.
C  **  PRECISAO: DUPLA.
C  ****
C  ****
C  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
C  DIMENSION A(I,J),B(J,I)
C  DO 1 N=1,I
C  DO 1 M=1,J
1  B(M,N)=A(N,M)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE MULTIP(A,B,C,I,J,K)
C  ****
C  ****
C  **  PROPOSITO: ESTA SUBROTINA FAZ A MULTIPLICACAO SIMPLES DE MA- **
C  **          TRIZES.
C  **  CHAMADA: CALL MULTIP(A,B,C,I,J,K).
C  **  PARAMETROS:
C  **          A: MATRIZ A MULTIPLICAR, DIM A(I,J).
C  **          B: MATRIZ A MULTIPLICAR, DIM B(J,K).
C  **          C: MATRIZ RESULTANTE, DIM C(I,K).
C  **          I: NUMERO DE LINHAS DA MATRIZ A.
C  **          J: NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ A.
C  **          K: NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ B.
C  **  PRECISAO: DUPLA.
C  ****
C  ****
C  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
C  DIMENSION A(I,J),B(J,K),C(I,K)
C  DO 1 N=1,I
C  DO 1 L=1,K
    C(N,L)=0.0

```

```

DO 1 M=1,J
  C(N,L)=C(N,L)+A(N,M)*B(M,L)
1  CONTINUE
  RETURN
  END

SUBROUTINE ESCALA(C,A,J,K)
C  *****
C  *****
C  ** PROPOSITO: ESTA SUBROTINA FAZ A MULTIPLICACAO DE UM ESCALAR **
C  ** POR UMA MATRIZ.
C  ** CHAMADA: CALL ESCALA(C,A,J,K).
C  ** PARAMETROS:
C  ** C: ESCALAR A MULTIPLICADOR.
C  ** A: MATRIZ A SER MULTIPLICADA, DIM A(I,J), E MATRIZ
C  ** RESULTANTE DA MULTIPLICACAO.
C  ** J: NUMERO DE LINHAS DA MATRIZ A.
C  ** K: NUMERO DE COLUNAS DA MATRIZ A.
C  ** PRECISAO: DUPLA.
C  ** REQUISITOS: A MATRIZ A, DE ENTRADA E PERDIDA NA MULTIPLICACAO.
C  *****
C  *****
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  DIMENSION A(J,K)
  DO 1 N=1,J
    DO 1 M=1,K
1    A(N,M)=C*A(N,M)
  RETURN
  END

SUBROUTINE ADICAO(A,B,C,I,J)
C  *****
C  *****
C  ** PROPOSITO: ESTA SUBROTINA FAZ A ADICAO DE MATRIZES.
C  ** CHAMADA: CALL ADICAO(A,B,C,I,J).
C  ** PARAMETROS:
C  ** A: MATRIZ A SOMAR, DIM A(I,J).
C  ** B: MATRIZ A SOMAR, DIM B(I,J).
C  ** C: MATRIZ RESULTANTE, DIM C(I,J).
C  ** I: NUMERO DE LINHAS.
C  ** J: NUMERO DE COLUNAS.
C  ** PRECISAO: DUPLA.
C  *****
C  *****
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  DIMENSION A(I,J),B(I,J),C(I,J)
  DO 1 N=1,I
    DO 1 M=1,J
1    C(N,M)=A(N,M)+B(N,M)
  RETURN
  END

SUBROUTINE SUBTRA(A,B,C,I,J)
C  *****
C  *****
C  ** PROPOSITO: ESTA SUBROTINA FAZ A SUBTRACAO DE MATRIZES.
C  ** CHAMADA: CALL SUBTRA(A,B,C,I,J).
C  ** PARAMETROS:
C  ** A: MATRIZ A SER SUBTRAIDA, DIM A(I,J).
C  ** B: MATRIZ SUBTRATORA, DIM B(I,J).
C  ** C: MATRIZ RESULTANTE, DIM C(I,J).
C  ** I: NUMERO DE LINHAS.

```

```

C  **          J: NUMERO DE COLUNAS.
C  **  PRECISAO: DUPLA.
C  ****
C  ****
C  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
C  DIMENSION A(I,J),B(I,J),C(I,J)
C  DO 1 N=1,I
C      DO 1 M=1,J
1      C(N,M)=A(N,M)-B(N,M)
C  RETURN
C  END

C ****
C  SUBROUTINE AGUDEC(ANG,DEC)
C  TRANSFORMA GRAU.MMSS EM DECIMAL GG.DDDDDD.....
C  IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
C  K=0
C  IF(ANG)10,15,15
10  ANG=DABS(ANG)
C  K=1
15  IA=IDINT(ANG)
C  B=DBLE(IA)
C  IF((ANG-B).EQ.0.D0) GOTO 20
C  DGRA=(ANG-B)*100.D0
C  IDGRA=IDINT(DGRA)
C  XMIN=DBLE(IDGRA)
C  SEG=(DGRA-XMIN)*100.D0
C  ANG=B+XMIN/60.D0+SEG/3600.D0
20  IF(K.EQ.0) GOTO 30
C  ANG=-ANG
30  DEC=ANG
C  RETURN
C  END

C *****
C  SUBROUTINE DECRAD(DEC,RAD)
C  TRANSFORMA DECIMAL DO GRAU GG.DDDD.... EM RADIANO
C
C  IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
C  PI=3.14159265358979323846D0
C  RAD=DEC*PI/180.D0
C  RETURN
C  END

C *****
C  SUBROUTINE RADANG(RAD,ANG)
C  TRANSFORMA RADIANO EM GG.MMSS,...
C
C  IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
C  PI=3.14159265358979323846D0
C  K=0
C  IF(RAD)10,15,15
10  RAD=DABS(RAD)
C  K=1
15  COEF=180.D0/PI
C  DANG=COEF*RAD
C  IANG=IDINT(DANG)
C  XMIN=(DANG-DBLE(IANG))*60.D0
C  MIN=IDINT(XMIN)
C  SEG=(XMIN-DBLE(MIN))*60.D0
C  ANG=DBLE(IANG)+DBLE(MIN)/100.D0+SEG/10000.D0
C  IF(K.EQ.0.D0) GOTO 20
C  ANG=-ANG

```



```

20      RETURN
      END
C*****
      SUBROUTINE ANGRAD(ANG,RAD)
C      TRANSFORMA ANGULO GG.MMSS EM RADIAND
C
      IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
      K=0
      IF(ANG)10,15,15
10      ANG=DABS(ANG)
      K=1
15      IA=IDINT(ANG)
      B=DBLE(IA)
      IF((ANG-B).EQ.0.D0) GOTO 20
      DGRA=(ANG-B)*100.D0
      IDGRA=IDINT(DGRA)
      XMIN=DBLE(IDGRA)
      SEG=(DGRA-XMIN)*100.D0
      ANG=B+XMIN/60.D0+SEG/3600.D0
20      IF(K.EQ.0) GOTO 30
      ANG=-ANG
30      DEC=ANG
      COEF=3.14159265358979323846D0/180.D0
      RAD=DEC*COEF
      RETURN
      END

```

APÊNDICE B - DADOS DE CAMPO

DADOS PARA CÁLCULO DA LATITUDE POR STERNECK

Data: 28/07/88					
P _{inicial} = 958,6mbar P _{final} = 958,6mbar					
T _{inicial} = 19,8 °C T _{final} = 19,8 °C					
Estr.	Delta	H. legal	Zenital lida	N/S	Par
1487	-27°00'19,05"	22h42min	04°52'53,60"	S	1
1489	-04 45 42,57	22 44	17 21 17,60	N	2
1490	-43 41 45,72	22 46	21 34 04,00	S	2
1495	-16 23 33,71	22 52	05 43 37,80	N	1
717	-04 54 04,53	23 00	17 12 55,40	N	3
1496	-27 41 22,51	23 04	05 33 55,90	S	4
718	-37 55 30,47	23 06	15 47 55,40	S	3
1500	-07 57 36,92	23 10	14 09 25,90	N	5
1501	-35 26 41,20	23 16	13 19 08,60	S	5
727	-15 58 41,72	23 19	06 08 27,60	N	4

Data: 28/07/88					
		$P_i = 958,6\text{mbar}$		$P_f = 958,6\text{mbar}$	
		$T_i = 19,8\text{ }^{\circ}\text{C}$		$T_f = 18,9\text{ }^{\circ}\text{C}$	
Estr.	Delta	H. legal	Zenital lida	N/S	Par
728	$-40^{\circ}38'24,42''$	23h20min	$18^{\circ}30'52,00''$	S	6
730	03 05 26,66	23 22	25 12 23,00	N	7
1509	-02 48 50,39	23 27	19 18 13,10	N	6
735	-48 07 35,39	23 32	25 59 52,70	S	7
736	-24 54 38,33	23 34	02 47 19,00	S	8
1517	-19 47 24,38	23 43	02 19 54,20	N	8
1519	-03 08 42,59	23 50	18 58 21,50	N	9
1520	-41 54 01,00	23 52	19 46 25,00	S	9
1522	-15 31 23,04	23 55	06 35 51,00	N	10
753	-27 44 34,80	23 59	05 37 13,90	S	10

Data: 29/07/88					
		$P_i = 958,6\text{mbar}$		$P_f = 958,6\text{mbar}$	
		$T_i = 18,4\text{ }^{\circ}\text{C}$		$T_f = 17,7\text{ }^{\circ}\text{C}$	
Estr.	Delta	H. legal	Zenital lida	N/S	Par
1524	$07^{\circ}14'41,36$	00h01min	$29^{\circ}21'28,40''$	N	11
755	-52 54 55,33	00 04	30 47 03,60	S	11
1528	-47 44 51,34	00 15	25 37 04,50	S	12
762	-14 49 05,90	00 18	07 18 02,60	N	13
763	-42 05 12,42	00 19	19 57 32,60	S	14
1531	05 18 20,20	00 20	27 25 09,80	N	12
1532	-28 42 04,31	00 22	06 34 36,80	S	13
1533	-02 55 27,10	00 23	19 11 33,00	N	14
1536	-09 53 34,92	00 29	12 13 30,80	N	15
1540	-33 28 22,31	00 37	11 20 51,40	S	15

Data: 29/07/88 $P_i = 958,7\text{mbar}$ $P_f = 958,5\text{mbar}$					
$T_i = 17,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$					
Estr.	Delta	H. legal	Zenital lida	N/S	Par
1543	-05 ⁰⁰ 04'11,98"	00h44min	17 ⁰⁰ 02'53,20"	N	16
1546	-26 57 43,86	00 48	04 50 23,50	S	17
1548	-16 04 32,81	00 54	06 02 42,20	N	17
1550	-32 18 09,00	00 58	10 10 42,70	S	18
790	-38 40 34,27	01 00	16 33 01,10	S	16
1552	-17 16 41,88	01 02	04 50 31,90	N	19
794	-11 25 04,89	01 06	10 42 06,00	N	18
1556	-27 39 56,78	01 10	05 32 35,15	S	19
801	-32 13 11,96	01 14	10 05 46,40	S	20
1562	-12 55 36,99	01 21	09 11 34,20	N	20

Data: 29/07/88 $P_i = 958,5\text{mbar}$ $P_f = 958,0\text{mbar}$					
$T_i = 16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 16,1\text{ }^{\circ}\text{C}$					
Estr.	Delta	H. legal	Zenital lida	N/S	Par
1566	-33 ⁰⁵ 59'39,42"	01h29min	11 ⁰⁵ 52'08,60"	S	21
1569	-07 54 18,55	01 34	14 12 44,70	N	21
814	-33 04 36,93	01 41	10 57 06,30	S	22
818	-11 25 05,07	01 43	10 42 03,00	N	22
1574	02 38 00,18	01 44	24 44 52,40	N	23
1533	-47 21 15,84	01 45	25 13 32,00	S	23
822	-37 25 02,35	01 50	15 17 27,40	S	24
1580	-04 25 35,01	01 55	17 41 25,20	N	24
828	-13 55 26,79	02 03	08 11 43,60	N	25
832	-33 02 33,66	02 05	10 55 04,90	S	25

Data: 29/07/88		P _i = 959,1mbar	P _f = 959,3mbar		
		T _i = 19,1 °C	T _f = 18,3 °C		
Estr.	Delta	H. legal	Zenital lida	N/S	Par
1487	-27°00' 19,10"	22h39min	04°52' 59,20"	S	26
1489	-04 45 52,49	22 40	17 21 21,90	N	27
1490	-43 41 54,84	22 42	21 34 08,70	S	27
1495	-16 23 33,71	22 48	05 43 41,80	N	26
717	-04 54 04,45	22 59	19 13 02,10	N	28
1496	-27 41 22,55	23 00	05 34 02,00	S	29
718	-37 55 30,57	23 02	15 48 00,20	S	28
1500	-07 57 36,86	23 06	14 09 31,00	N	30
1501	-35 26 41,28	23 12	13 19 11,90	S	30
727	-15 58 41,69	23 15	06 08 32,50	N	29

Data: 29/07/88		P _i = 959,3mbar	P _f = 959,3mbar		
		T _i = 18,3 °C	T _f = 17,3 °C		
Estr.	Delta	H. legal	Zenital lida	N/S	Par
728	-40°38'24,53"	23h17min	18°30'46,00"	S	31
730	03 05 29,79	23 19	25 12 17,80	N	32
1509	-02 48 50,30	23 23	19 18 07,20	N	31
735	-48 07 35,54	23 28	25 59 50,00	S	32
736	-24 54 38,35	23 30	02 07 15,00	S	33
1517	-19 47 24,38	23 39	02 19 50,00	N	33
1519	-03 08 42,48	23 46	18 58 16,20	N	34
1520	-41 54 01,11	23 48	19 46 22,30	S	34
1522	-15 31 23,00	23 51	06 35 47,70	N	35
753	-27 44 34,84	23 56	05 37 09,40	S	35

Data: 29 e 30/07/88 $P_i = 959,3\text{mbar}$ $P_f = 959,3\text{mbar}$					
$T_i = 17,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$					
Estr.	Delta	H. legal	Zenital lida	N/S	Par
1524	$07^{\circ}14'41,20''$	23h57min	$29^{\circ}21'32,50''$	N	36
755	-52 54 55,50	00 00	30 47 08,10	S	36
1528	-47 44 51,51	00 12	25 37 09,30	S	37
762	-14 49 06,06	00 14	07 18 08,60	N	38
763	-42 05 12,58	00 15	19 57 33,60	S	39
1531	05 18 20,06	00 16	27 25 13,20	N	37
1532	-28 42 04,47	00 18	06 34 40,06	S	38
1533	-02 55 27,25	00 22	19 11 35,70	N	39
1536	-09 53 35,07	00 25	12 13 34,80	N	40
1540	-33 28 22,46	00 33	11 20 53,70	S	40

Data: 30/07/88 $P_i = 959,3\text{mbar}$ $P_f = 959,3\text{mbar}$					
$T_i = 16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 16,1\text{ }^{\circ}\text{C}$					
Estr.	Delta	H. legal	Zenital lida	N/S	Par
1546	$-26^{\circ}57'44,07''$	00h44min	$04^{\circ}50'18,10''$	S	41
1547	-09 01 35,70	00 45	13 05 27,40	N	42
1548	-16 04 32,82	00 50	06 02 38,70	N	41
1550	-32 18 09,22	00 54	10 10 40,60	S	43
790	-38 40 34,53	00 56	16 32 58,20	S	42
1552	-17 16 42,01	00 59	04 50 30,40	N	44
794	-11 25 05,00	01 02	10 42 03,00	S	43
1556	-27 39 56,97	01 06	05 32 31,70	S	44
801	-32 13 12,16	01 10	10 05 43,00	S	45
1562	-12 55 37,08	01 17	09 11 32,80	N	45

Data: 30/07/88					
		$P_i = 959,3\text{mbar}$		$P_f = 959,3\text{mbar}$	
		$T_i = 16,1\text{ }^{\circ}\text{C}$		$T_f = 15,8\text{ }^{\circ}\text{C}$	
Estr.	Delta	H. legal	Zenital lida	N/S	Par
1566	$-33^{\circ}59'39,61''$	01h26min	$11^{\circ}52'05,80''$	S	46
1569	-07 54 18,59	01 30	14 12 46,80	N	46
814	-33 04 37,10	01 37	10 57 09,00	S	47
818	-11 25 05,12	01 39	10 42 03,20	N	47
1574	02 38 00,20	01 40	24 44 54,00	N	48
1573	-47 21 16,08	01 41	25 13 31,50	S	48
822	-37 25 02,53	01 46	15 17 29,00	S	49
1580	-04 25 35,01	01 51	17 41 27,70	N	49
828	-13 55 26,83	01 59	08 11 45,80	N	50
832	-33 02 33,80	02 01	10 55 05,40	S	50

APÊNDICE C

DADOS PARA CÁLCULO DA LONGITUDE

Data: 28/07/88 $P_i = 957,4\text{mbar}$ $P_f = 957,8\text{mbar}$ $T_i = 22,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 22,4\text{ }^{\circ}\text{C}$							
Estr.	Alfa h min s	Delta ° ' "	H.Legal h min s	O.E	O.E	O.W	O.W
556	15 03 24,453	-25 14 26,89	19 01 54,331	29.8	71.2	71.0	30.0
559	15 11 34,670	-19 45 06,29	19 10 03,238	70.2	29.0	29.0	70.2
564	15 16 24,088	-9 20 34,91	19 14 51,862	28.8	71.0	70.1	29.7
1402	15 20 37,729	-40 36 41,29	19 19 04,717	71.0	29.0	29.7	70.3
1407	15 27 37,333	-16 40 46,93	19 26 03,279	28.6	71.4	70.0	30.0
579	15 36 20,444	-28 06 04,84	19 34 44,908	71.2	29.0	29.8	70.4
582	15 43 43,120	6 27 38,29	19 42 06,513	28.8	71.2	70.2	28.8
586	15 50 14,670	-33 35 49,37	19 48 36,849	71.0	28.6	29.5	70.2

Estr.	Longitude	Resíduo
556	-3h25min37,499s	-0,004s
559	-3 25 37,531	0,028
564	-3 25 37,504	0,001
1402	-3 25 37,434	-0,069
1407	-3 25 37,509	0,006
579	-3 25 37,474	-0,029
582	-3 25 37,606	0,103
586	-3 25v 37,470	-0,033

Longitude do grupo 3h25min37,503sW 0,018s

Data: 28/07/88 $P_i = 957,8\text{mbar}$ $P_f = 957,8\text{mbar}$							
$T_i = 21,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$							
Estr.	Alfa h min s	Delta o ' "	H.legal h min s	O.E	O.E	O.W	O.W
1418	15 58 44,347	-41 43 01,34	19 57 05,097	29.0	70.8	70.8	29.0
596	16 05 41,843	-45 08 52,35	20 04 01,480	71.4	28.0	29.5	70.0
1422	16 08 38,351	6 24 37,00	20 06 57,696	28.0	71.2	70.0	29.2
603	16 13 45,728	-3 40 00,80	20 12 04,243	71.5	28.0	70.0	29.5
1426	16 18 50,311	-30 53 00,37	20 17 07,856	28.0	71.5	29.5	70.0
1429	16 23 38,436	6 58 24,51	20 21 55,333	71.5	27.0	69.0	29.5
620	16 35 11,322	-28 11 47,20	20 33 26,281	28.0	72.0	30.0	70.0
624	16 40 55,796	-17 43 23,81	20 39 09,817	71.0	27.0	69.0	29.0

Data: 28/07/88 $P_i = 957,8\text{mbar}$ $P_f = 958,6\text{mbar}$							
$T_i = 21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 21,8\text{ }^{\circ}\text{C}$							
Estr.	Alfa h min s	Delta o ' "	H.legal h min s	O.E	O.E	O.W	O.W
1445	17 00 28,598	-4 12 27,30	20 58 39,365	28.0	70.2	28.0	70.0
1450	17 09 11,259	-10 30 39,37	21 07 20,580	70.2	27.5	27.7	70.0
1452	17 16 20,447	-32 39 15,00	21 14 28,474	27.5	70.4	70.1	27.8
644	17 21 19,831	-24 59 30,17	21 19 27,106	71.1	27.0	28.2	70.0
647	17 26 02,776	-5 04 43,02	21 24 09,392	27.0	71.0	70.0	28.0
649	17 30 00,791	-37 17 28,09	21 28 06,606	70.5	27.1	27.5	70.1
1461	17 34 09,563	-11 14 12,31	21 32 14,835	27.0	71.0	70.0	28.0
660	17 41 43,533	-39 01 42,70	21 39 47,428	70.5	27.0	27.5	70.0

Data: 28/07/88 $P_i = 958,6\text{mbar}$ $P_f = 958,8\text{mbar}$							
$T_i = 21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$							
Estr.	Alfa h min s	Delta o ' "	H.legal h min s	O.E	O.E	O.W	O.W
669	17 49 06,535	-37 02 37,72	21 47 09,238	27.0	70.8	70.0	27.8
673	17 58 25,287	-9 46 28,32	21 56 26,606	71.0	27.0	28.0	70.0
679	18 05 06,137	-30 25 39,87	22 03 06,240	27.5	70.8	70.5	27.8
1472	18 09 05,971	-13 56 19,77	22 07 05,486	71.0	27.2	28.0	70.2
1475	18 16 47,923	-9 45 52,87	22 14 46,233	26.8	71.1	69.9	28.8
687	18 20 17,529	-29 50 10,60	22 18 15,183	71.0	26.7	27.9	69.8
691	18 26 09,830	-45 58 43,82	22 24 06,433	27.0	71.0	70.1	27.9
1480	18 29 06,808	-1 59 39,85	22 27 03,107	71.0	26.5	27.9	69.6

data: 29/07/88 $P_i = 957,8\text{mbar}$ $P_f = 957,8\text{mbar}$							
$T_i = 24,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 24,0\text{ }^{\circ}\text{C}$							
Estr.	Alfa h min s	Delta o ' "	H.legal h min s	O.E	O.E	O.W	O.W
545	14 42 27,867	-5 36 36,73	18 37 05,329	29.0	70.0	69.2	29.8
1385	14 47 05,017	-26 02 35,95	18 41 41,603	69.5	28.7	29.0	69.2
548	14 50 15,121	-15 59 49,40	18 44 51,266	27.5	69.6	69.0	28.9
1389	14 55 02,847	-33 48 50,14	18 49 38,100	69.6	28.5	29.0	69.2
1394	15 00 22,181	-8 28 32,53	18 54 56,715	28.0	70.0	69.2	28.8
556	15 03 24,442	-25 14 26,96	18 57 58,432	69.9	28.0	29.0	69.0
559	15 11 34,660	-19 45 06,33	19 06 07,331	28.0	69.9	69.2	28.8
566	15 21 05,293	-36 13 29,33	19 15 36,317	68.8	27.8	28.3	69.0

Data: 29/07/88 $P_i = 957,8\text{mbar}$ $P_f = 958,1\text{mbar}$							
$T_i = 24,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 21,8\text{ }^{\circ}\text{C}$							
Estr.	Alfa h min s	Delta o ' "	H.legal h min s	O.E	O.E	O.W	O.W
1407	15 27 37,324	-16 40 46,96	19 22 07,389	27.5	70.5	69.0	29.0
1409	15 33 33,882	-10 01 40,15	19 28 03,022	70.5	27.6	29.0	69.0
579	15 36 20,435	-28 06 04,90	19 30 49,005	27.5	70.0	69.0	28.5
582	15 43 43,111	6 27 38,30	19 38 10,616	70.0	26.1	28.1	68.0
1415	15 52 40,997	-20 08 10,93	19 47 06,958	27.2	71.0	69.0	29.0
592	15 58 10,413	-26 05 06,76	19 52 35,504	70.5	28.0	28.5	69.9
599	16 05 51,347	-36 46 34,18	20 00 15,137	27.0	70.5	69.0	28.5
1426	16 18 50,303	-30 53 00,46	20 13 12,007	71.0	26.7	29.0	68.7

Data: 29/07/88 $P_i = 958,6\text{mbar}$ $P_f = 958,6\text{mbar}$							
$T_i = 21,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 21,8\text{ }^{\circ}\text{C}$							
Estr.	Alfa h min s	Delta o ' "	H.legal h min s	O.E	O.E	O.W	O.W
1431	16 30 39,177	-34 41 02,99	20 24 58,761	28.0	69.0	70.0	27.0
620	16 35 11,316	-28 11 47,28	20 29 30,162	70.2	28.2	28.0	70.5
624	16 40 55,790	-17 43 23,86	20 35 13,713	27.8	69.3	70.1	27.0
1436	16 46 36,276	2 05 00,77	20 40 53,385	69.9	27.9	27.0	70.5
1439	16 51 07,032	-38 01 57,69	20 45 23,214	27.7	69.6	70.2	27.0
1445	17 00 28,593	-4 12 27,27	20 54 43,441	70.0	27.1	27.0	70.1
1450	17 09 11,255	-10 30 39,40	21 03 24,675	27.3	70.5	70.3	27.5
1452	17 16 20,443	-32 39 15,11	21 10 32,574	70.0	27.6	27.0	70.6

Data: 29/07/88 $P_i = 958,6 \text{ mbar}$ $P_f = 959,1 \text{ mbar}$							
$T_i = 21,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 19,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$							
Estr.	Alfa h min s	Delta o ' "	H.legal h min s	O.E	O.E	O.W	O.W
644	17 21 19,828	-24 59 30,25	21 15 31,156	27.2	70.5	70.2	27.5
647	17 26 02,773	-5 04 43,02	21 20 13,459	70.2	27.0	27.2	70.0
649	17 30 00,788	-37 17 28,23	21 24 11,214	27.0	70.0	70.0	27.0
1461	17 34 09,561	-11 14 12,34	21 28 18,926	70.1	26.8	27.0	69.9
660	17 41 43,531	-39 01 42,84	21 35 51,490	26.8	70.4	70.0	27.2
668	17 47 20,532	2 42 17,48	21 41 27,786	71.0	28.0	27.8	69.5
673	17 58 25,287	-9 46 28,34	21 52 30,677	28.9	71.0	69.9	27.6
679	18 05 06,137	-30 25 39,98	21 59 10,370	69.8	27.2	27.0	70.6

APÊNDICE D - DADOS DE CAMPO

DADOS PARA CÁLCULO SIMULTÂNEO DA LATITUDE E LONGITUDE

Data: 20/08/88 $P_i = 952,9\text{mbar}$ $P_f = 953,4\text{mbar}$ $T_i = 26,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 23,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ N. de estrelas obs. = 29			
Estr.	Alfa h min s	Delta o ' "	H.legal h min s
728	19 23 08,010	-40 38 26,97	19 58 48,230
753	20 01 59,494	-27 44 35,89	20 19 09,981
709	18 55 40,539	4 11 17,14	20 24 15,175
599	16 05 50,968	-36 46 34,22	20 34 42,132
597	16 04 46,889	-19 46 38,66	20 40 41,827
607	16 20 30,270	-25 34 09,41	20 58 41,697
1439	16 51 06,704	-38 01 58,42	21 17 16,495
638	17 11 21,257	-43 13 46,48	21 21 43,152
1543	20 47 09,912	-5 04 10,11	21 32 27,272
794	21 09 00,282	-11 25 03,76	21 38 56,863
654	17 36 31,319	-42 59 44,89	21 47 45,180
644	17 21 19,585	-24 59 30,41	21 59 18,874
819	21 46 26,704	-16 10 41,75	22 08 57,269
673	17 58 25,103	-9 46 27,41	22 19 50,362
691	18 26 09,617	-45 58 46,50	22 23 01,998
828	22 05 51,247	-13 55 25,68	22 31 23,492
679	18 05 05,942	-30 25 40,90	22 41 29,208
687	18 20 17,363	-29 50 11,67	22 57 00,408
827	22 05 13,639	-0 22 26,79	23 07 26,996

Estr.	Alfa h min s	Delta o ' "	H.legal
866	22 54 04,660	-15 52 45,48	23 16 46,626
710	18 57 04,596	-21 07 26,63	23 33 26,247
746	19 51 55,095	0 58 33,50	23 37 32,482
728	19 23 08,009	-40 38 26,99	23 42 09,933
856	22 42 02,362	-46 56 32,34	23 45 25,482
834	22 09 39,132	6 08 34,40	23 55 30,132
886	23 32 24,083	-37 52 40,97	24 00 20,497
736	19 36 02,684	-24 54 39,07	24 13 39,222
769	20 36 48,951	-47 19 59,54	24 24 43,530
751	19 59 01,927	-35 18 33,85	24 29 46,294

Data: 22/08/88 $P_i = 954,3\text{mbar}$ $P_f = 955,1\text{mbar}$

$T_i = 26,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 23,8\text{ }^{\circ}\text{C}$

N. de estrelas obs. = 16

Estr.	Alfa h min s	Delta o ' "	H.legal h min s
736	19 36 02,667	-24 54 39,12	19 45 12,269
728	19 23 07,988	-40 38 27,16	19 50 56,129
603	16 13 45,404	-3 39 59,55	20 11 07,604
751	19 59 01,919	-35 18 33,27	20 14 56,698
605	16 17 43,626	-4 39 58,94	20 18 19,228
594	15 59 39,908	-22 35 33,58	20 29 23,400
762	20 20 24,087	-14 49 05,40	20 37 03,709
622	16 36 32,503	-10 32 46,70	20 51 55,482
665	17 42 55,572	4 34 16,39	20 58 35,118
756	20 10 44,619	-0 51 20,01	21 03 20,230
781	20 47 05,352	-9 32 15,46	21 13 01,401
1552	21 05 20,205	-17 16 41,34	21 18 50,116
677	18 00 05,552	2 55 52,22	21 27 13,899
769	20 36 48,942	-47 19 59,82	21 35 20,752
658	17 36 57,069	-15 23 38,47	22 00 11,437

Data: 04/10/88 $P_i = 950,0\text{mbar}$ $P_f = 951,0\text{mbar}$ $T_i = 24,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 21,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ N. de estrelas obs. = 27			
Estr.	Alfa h min s	Delta ° ' "	H.legal h min s
717	19 05 39,354	-4 54 02,04	20 17 27,055
1599	22 50 26,121	-39 13 00,81	20 24 41,528
1509	19 30 05,069	-2 48 47,15	20 34 52,942
850	22 34 48,054	-0 10 26,30	20 40 54,170
728	19 23 07,304	-40 38 30,58	20 45 13,386
1519	19 52 44,055	-3 08 39,17	20 58 38,888
886	23 32 24,490	-37 52 47,38	21 03 25,164
756	20 10 44,206	-0 51 18,29	21 07 47,718
1520	19 54 30,370	-41 54 08,40	21 12 27,958
744	19 50 10,381	-10 47 36,35	21 16 26,845
1516	19 45 19,114	-31 56 21,40	21 23 18,342
905	0 03 11,639	-17 23 46,41	21 27 00,513
1602	23 03 19,644	3 45 41,84	21 31 12,637
889	23 37 17,478	-45 33 14,71	21 35 16,006
761	20 17 26,722	-12 34 51,51	21 46 55,290
1002	0 04 47,202	-5 46 04,34	21 50 33,213
22	0 43 03,337	-18 02 42,66	22 06 06,022
12	0 25 46,327	-42 21 54,01	22 09 23,416
1540	20 39 38,917	-33 28 28,48	22 15 51,946
892	23 39 23,744	5 34 04,63	22 22 00,104
1574	21 46 40,896	2 38 06,77	22 25 56,946
1017	0 44 27,800	-42 44 06,86	22 29 24,858

Estr.	Alfa h min s	Delta o ' "	H.legal h min s
1550	21 00 37,606	-32 18 15,05	22 38 03,730
1015	0 40 50,413	-46 08 39,47	22 41 58,776
1031	1 07 19,568	-41 32 37,64	22 47 58,011
15	0 30 55,452	-48 51 49,20	22 52 06,213

Data: 05/10/88 $P_i = 952,8\text{mbar}$ $P_f = 954,4\text{mbar}$

$T_i = 25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_f = 20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

N. de estrelas obs. = 40

Estr.	Alfa h min s	Delta ° ' "	H.legal h min s
812	21 39 29,349	-16 42 49,50	19 00 31,286
1473	18 10 23,547	-45 57 42,48	19 06 34,062
808	21 30 59,075	-5 37 13,49	19 13 39,808
822	21 53 16,743	-37 25 11,87	19 20 31,294
1567	21 32 41,811	-44 54 06,16	19 23 40,918
1480	18 29 05,852	-1 59 37,75	19 27 06,060
1581	22 05 28,264	-39 35 58,99	19 36 54,466
679	18 05 05,010	-30 25 41,39	19 40 37,156
683	18 16 51,940	-36 46 10,78	19 44 31,431
1592	22 30 53,897	-32 24 16,75	19 49 41,964
854	22 40 03,839	-27 06 09,33	19 55 47,522
702	18 42 54,603	-8 17 16,89	19 59 59,976
829	22 07 33,838	-47 01 05,10	20 10 40,049
1595	22 37 11,772	-4 17 05,07	20 23 46,013
1500	19 12 04,389	-7 57 35,34	20 28 17,620
718	19 08 42,903	-37 55 35,74	20 33 53,069
850	22 34 47,975	-0 10 26,03	20 36 57,976
728	19 23 07,068	-40 38 30,88	20 41 47,702
1501	19 18 55,827	-35 26 46,31	20 48 42,513
727	19 21 05,375	-15 58 42,14	20 51 47,964
1519	19 52 43,882	-3 08 39,28	20 54 43,176
886	23 32 24,437	-37 52 49,42	20 59 29,012
756	20 10 44,037	-0 51 18,42	21 03 52,138
1520	19 54 30,134	-41 54 08,98	21 08 32,506
812	21 39 29,347	-16 42 49,51	23 10 42,218

Estr.	Alfa h min s	Delta O ' "	H.legal h min s
1051	1 49 03,706	-10 44 16,44	23 18 27,272
62	1 50 56,069	-10 23 11,22	23 21 15,326
850	22 34 47,974	-0 10 26,03	23 24 34,210
1053	1 53 56,604	-42 32 54,11	23 34 03,442
832	22 07 45,462	-33 02 41,66	23 40 18,231
878	23 16 36,324	3 13 23,40	23 48 01,471
80	2 16 27,042	-6 28 10,04	23 56 57,680
97	2 43 36,942	-13 54 05,05	24 07 34,022
1074	2 35 28,476	-7 52 32,83	24 09 56,293
854	22 40 03,837	-27 06 09,35	24 16 44,492
1620	23 41 29,827	1 43 14,71	24 21 45,164
1607	23 13 45,901	-6 06 28,28	24 24 29,011
104	2 55 54,303	-8 56 16,52	24 29 09,592
1090	3 14 15,562	-35 35 37,71	24 36 25,500